

**VILJELYTEKNISTEN TEKIJÖIDEN MERKITYS TÄRKKELYS-
PERUNAN
SOLUNESTEEN PROTEIINISATOON**

Terhi Tuulikki Korpi
Maisterintutkielma
Helsingin yliopisto
Maataloustieteiden laitos
Kasvinviljelytiede
2019

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta		Laitos — Institution — Department Maataloustieteiden laitos	
Tekijä — Författare — Author Terhi Tuulikki Korpi			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Viljelytekniesten tekijöiden merkitys tärkkelysperunan solunesteen proteiinisaatoon			
Oppiaine — Läroämne — Subject Kasvinviljelytiede			
Työn laji — Arbetets art — Level Maisterintutkielma	Aika — Datum — Month and year March 2019	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 70 s.	
Tiivistelmä — Referat — Abstract <p>Tärkkelysperunatuotannossa perunoista eristetyllä solunesteellä ei ole teollisuudessa toistaiseksi ollut jatkojalostuskäyttöä, vaan se on jouduttu palauttamaan perunapelloille. Tästä aiheutuu teollisuudelle turhia kuluja, sekä lohkoilla lisääntyneitä ravinnehuuhtoutumisriskiä. Tästä johtuen jatkojalostuskäytänteitä on lähdetty kehittämään. Teollisuuden päätuotteen, tärkkelyspitoisuuden, ylläpitäminen on kuitenkin tärkeää. Tästä johtuen tärkkelystuottajia kiinnostaa tärkkelykseen ja solunesteen typpi- ja proteiinipitoisuuteen vaikuttavat tekijät.</p> <p>Tutkimus toteutettiin Perunantutkimuslaitoksen (Petla) kanssa kesän 2016 tärkkelysperunan lajikekoneen yhteydessä. Tutkimuksessa tarkasteltiin neljän viljelytekijän (kasvupaikka, lajike, typpilannoitus ja nostoajankohta) kautta mukuloiden typpitasoissa tapahtuvia muutoksia. Säätilan vaikutusta arvioitiin koepaikkoja lähinnä olevien Ilmatieteenlaitoksen sääaineistojen perusteella.</p> <p>Tutkimuksessa pyrittiin selvittämään mitkä ovat ne tekijät, joilla on vaikutusta tärkkelysperunan typpi- ja sitä kautta proteiinipitoisuuden vaihteluihin. Suurimpina tekijöinä ovat lajikkeen lisäksi kasvupaikka, istutuksen ajankohta sekä kasvukauden sääolosuhteet. Tärkkelys- ja typpipitoisuuden kasvun välillä yhteyttä ei havaittu.</p> <p>Lisäksi tahdottiin selvittää tärkkelystuotannon säilymisen sekä typpi- ja proteiinisadon kannalta optimaalisin viljely-yhdistelmä. Aikaisin istutetut aikaiset lajikkeet tuottavat varmimmin parhaan typpisadon, sillä kasvuolosuhteet vaikuttavat merkittävimmin myöhäisten lajikkeiden tuleentumiseen. Lannoitustason lisääminen 100 kg/ha on tulosten perusteella tärkkelystuotannon kannalta paras ratkaisu, mutta typpi- ja proteiinisatoon se vaikuttaa, mikäli noston ajankohta on myös optimoitu.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords Typpi, Typen käyttö, Soluneste, Proteiini, Proteiinipitoisuus, Peruna, Solanum tuberosum L.			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Maataloustieteiden laitos ja Viikin kampuskirjasto			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information Ohjaaja: MMT Mervi Seppänen			

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Faculty of Agriculture and Forestry		Laitos — Institution — Department Department of Agricultural Sciences	
Tekijä — Författare — Author Terhi Tuulikki Korpi			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Effects of different cultivational factors on the protein yield of cellular liquid in starch potato variants.			
Oppiaine — Läroämne — Subject Plant production sciences			
Työn laji — Arbetets art — Level Master's thesis		Aika — Datum — Month and year March 2019	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 70 p.
Tiivistelmä — Referat — Abstract <p>The production of potato starch leads to large amount of separate cellular liquid. So far industries haven't had use for this potato juice, and it has been distributed back to fields. This causes unnecessary expenses for industries as well as raises the risk of nutrients leaching. These factors have raised the interest in developing processes for further processing of the cellular liquid. The main interest of industries is still potato starch, which is why they are interested in what affects the nitrogen and protein content of starchy potatoes and what is their relationship to starch content.</p> <p>This study was done in unison with Perunantutkimuslaitos (Petla) during the starch potato variety test in summer of 2016. In this study the effects of four cultivational factors (site, cultivar, nitrogen fertilization level and time of harvest) were examined via the changes in nitrogen and protein levels in tubers. The weather factors were considered from the data collected from the nearest measurement location of the Finnish Meteorological Institute.</p> <p>The goal of the study was to find out what are the factors that have the biggest effect on the changes in nitrogen and protein contents of starch potato variants. Cultivars were found to have the biggest effect, but the site as well as sowing time and weather conditions had an effect as well. Correlation between starch and nitrogen content was not observed.</p> <p>In addition, the goal was to determine the ideal combination of cultivational factors for optimal starch, nitrogen and protein yield. Early variants do have more secure production of yield, since late variants are easier affected from different growing conditions. Raising the level of fertilization to 100 kg/ha was the optimum based on the results of this study, but only if time of harvesting was optimized as well.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords Nitrogen, Nitrogen use, Cellular liquid, Protein, Protein content, Potato, Solanum tuberosum L.			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Department of Agricultural Sciences and Viikki Campus Library			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information Supervisor: PhD Mervi Seppänen			

Sisällysluettelo

LYHENTEET JA KÄSITTEET	5
1. JOHDANTO	6
2. TÄRKKELYSPERUNAN VIJELY	9
2.1. Perunan typenkäyttö	9
2.1.1. Tärkkelysperunan viljely ja kasvu	9
2.1.2. Typpi kasvun rajoittajana	10
2.1.4. Typen suhde proteiinituotantoon	17
2.2. Proteiini perunassa	19
2.2.1. Perunan proteiini ja sen laatu	19
2.2.2. Proteiinimäärään vaikuttavat tekijät	20
3. TUTKIMUKSEN TAVOITTEET	22
4. AINEISTO JA MENETELMÄT	23
4.1. Taustatiedot	23
4.2. Aineiston kerääminen kasvukaudella	24
4.2.1. Kasvukausi	24
4.2.2. Sadonkorjuu ja korjuun jälkeinen käsittely	25
4.3 Tulosten laskeminen ja tilastollinen analyysi	27
5. TULOKSET	29
5.1 Sääolosuhteet kasvukaudella	29
5.2. Kasvuston rakenne	31
5.3. Typen hyödynnys ja proteiinit	36
6. TULOSTEN TARKASTELU	44
6.1. Sääolosuhteet kasvukaudella	44
6.2. Kasvuston rakenne	46
6.3. Typen hyödynnys ja proteiinit	49
7. JOHTOPÄÄTÖKSET	55
8. KIITOKSET	58
LÄHTEET	59
LIITTEET	65

LYHENTEET JA KÄSITTEET

$\text{NH}_4^+ \text{-N}$	Ammoniumtyppi
$\text{NO}_3^- \text{-N}$	Nitraattityppi
Mineralisaatio	Mineraalin rikastumien luonnossa
LAI	Lehtialaindeksi
HATS	High affinity transport system
LATS	Low affinity transport system
NPN	Non-protein nitrogen
NUE	Typen käytön tehokkuus

1. JOHDANTO

Noin 11% maailmanlaajuisesti tuotetusta perunasadosta käytetään tärkkelysteollisuudessa, pääasiallisesti EU:ssa (Løkra ja Strætkvern 2009). Perunatärkkelyksen tuotantoprosessissa sivutuotteena ylijäämäksi jäävä perunan soluneste sisältää arviolta 70-80% perunan koko proteiinisäällöstä (Peķsa ym. 2009), joka on keskimäärin noin 1,5% tuorepainosta (Lisińska ja Leszczyński 1989). Solunestettä ei kuitenkaan nykyisen tärkkelystuotannon ohella jatkojalosteta kaupallisesti, vaan suuri osa eristetyistä perunan solunesteestä levitetään takaisin pelloille tuotantokauden jälkeen. Tästä aiheutuu ylimääräisiä kuluja niin perunatärkkelysfirmoille kuin viljelijöillekin. Lisäksi tuotannon sesongista johtuen levitysjankohta on usein myöhäissyksy, jolloin levityksen hyödyt ovat varsin pienet. Samalla solunesteen ja sen sisältämien ravinteiden huuhtoutumisriskit ovat varsin korkeita syyssateista ja myöhemmin lumien sulamisvesistä aiheutuvan valuman vuoksi (Seppänen ym. 2008).

Tärkkelysperunan solunesteestä on kuitenkin edelleen prosessoimalla mahdollista eristää muun muassa puhdasta perunaproteiinia esimerkiksi elintarvike- tai rehu- tuotannon käyttöön. Perunaproteiinin eristämiseen solunesteestä on myös kehitetty prosesseja, joiden käyttöä Finnamyl Oy on testannut käytännössä jo muutama vuoden ajan. Perunaproteiini on laadultaan monia nykyisin proteiiniviljelyssä käytettäviä kasveja parempaa, sillä se sisältää esimerkiksi herneitä ja papuja enemmän metioniinia sekä viljakasveja enemmän lysiiniä (Rexen 1976). Suomessa tärkkelysperunan solunesteen proteiinin eristämistä ja sen hyödynnysmahdollisuuksia on tutkittu, mutta kaikenkattavia tuloksia ei ole vielä saavutettu.

Tässä tutkimuksessa pyrittiin selvittämään, miten erilaiset viljelytekniset tekijät (nostojankohta, lannoitustaso, kasvupaikka ja lajike) vaikuttavat tärkkelysperunan solunesteen proteiinipitoisuuteen, ja millä tavalla. Tähän pyrittiin vastaamaan seuraavien tutkimuskysymysten avulla:

- Voidaanko aikaisen tai myöhäisen tärkkelysperunalajikkeen valinnalla vaikuttaa proteiinisatoon?
- Vaikuttaako proteiinisatoon eniten lajike, kasvupaikka, nostoajankohta vai typpilannoitustaso?
- Onko lajikkeiden välillä eroa typenkäytön tehokkuudessa?
- Mikä on tuotannon kannalta paras typpilannoitustaso?
- Millainen suhde tärkkelys- ja proteiinisadoilla on keskenään?

Lajikkeiksi valittiin aikainen Tanu sekä myöhäinen Kuras. Tuleentumisen kannalta eri ääripäihin sijoittuvien Tanun ja Kuraksen valinnalla pyrittiin korostamaan lajikevalinnan merkitsevyyttä lopputulokseen. Lannoitus valikoitui tasoille 80, 100 ja 120 kg/ha, joista 80 kg/ha on yleisesti käytetty tärkkelysperunan normaalilannoitus. Kasvupaikkoina toimivat Ylistaron Untamala (nyk. Seinäjoki) ja Köyliö (nyk. Säkylä), joiden läheisyydessä perunatärkkelyksen tuotantolaitokset sijaitsevat. Nostoajankohtia valittiin neljä, ja ne sijoituivat aikavälille heinäkuun lopusta syyskuun loppuun. Kokeet toteutettiin Perunantutkimuslaitoksen tärkkelysperunan lajikekokeiden yhteydessä, mikä vaikutti lannoitustasojen, kasvupaikkojen sekä nostoajankohtien valintaan.

Tärkeimpänä havaintona voidaan todeta, ettei mukuloiden typpipitoisuuden ja tärkkelyspitoisuuden välillä havaittu korrelaatioita, eli ne eivät vaikuttaneet toistensa suuruuteen tavanomaisessa lannoitustasossa. Merkittävimmät tekijät solunesteen proteiinipitoisuuksien eroavaisuuksissa olivat kasvupaikka ja lajike. Eteläisemmässä Suomessa kasvaneiden aikaisten lajikkeiden proteiinisato oli huomattavasti suurempi. Typpilannoituksella puolestaan todettiin olevan odotettua vähemmän vaikutusta mukuloiden typpipitoisuuteen, mutta nitraattipitoisuuden kasvussa typpilannoituksen lisäämisellä on kuitenkin suuri rooli. Varmin sadontuotto havaittiin myöhään nostetuilla 100 kg/ha lannoitustason aikaisilla lajikkeilla, joskin myöhäiset lajikkeet pystyvät hyödyntämään suuremman osan tarjolla olevasta typpipotentialista. Riskitekijänä myöhäisten lajikkeiden kohdalla on kuitenkin kasvukausien erilaisuus, sekä tuleentumisen tahti kylmänä kesänä, jos perunat on nostettava aikaisessa vaiheessa syksyä.

Tämä tutkimus toteutettiin yhteistyössä Finnamyl Oy:n ja Perunantutkimuslaitoksen kanssa. Finnamyl Oy ja Lapuan Peruna Oy olivat mukana Ympäristöministeriön rahoittamassa Ravinteiden kierrätyksen ja saaristomeren tilan parantamisen ohjelmassa, Raki-ohjelmassa, hankkeella *Tärkkelysperunan solunesteen ravinteiden kierrätys lannoitevalmisteiksi*. Hankkeessa tarkoituksena oli kehittää tuotteita tärkkelystuotannon sivuaineena saatavasta perunan solunesteestä (Finnamyl, 2017) ja tässä onnistuttiin hyvin tuloksin. Mahdollisen tulevan perunaproteiinituotannon optimoimiseksi on tärkeää tietää, mitkä ovat ne tekijät, joilla on vaikutusta tärkkelysperunan proteiinipitoisuuden vaihteluihin. Perunan proteiinin laadulla on merkitystä, mikäli se halutaan erottaa solunesteestä ja käyttää edelleen elintarvike- tai rehutuoannossa. Perunan solunesteen proteiinipitoisuuden vaikuttavien tekijöiden selvittämisen avulla on mahdollista päätellä, miten tärkkelysperunaa olisi viljeltävä, jotta sadonkorjuussa saataisiin sekä korkea tärkkelys- että proteiinisato.

2. TÄRKKELYSPERUNAN VIJELY

2.1. Perunan typenkäyttö

2.1.1. Tärkkelysperunan viljely ja kasvu

Perunaa (*Solanum tuberosum* L.) viljellään laajasti ympäri maailmaa. Jalostajat ovat kehittäneet erilaisia lajikkeita kasvuympäristöön sopivaksi, varmistaakseen perunakasvin sopeutumisen useisiin eri kasvuolosuhteisiin (Horton ja Sawyer 1985). Perunaa lisätään yleensä suvuttomasti siemenmukulasta ja erilaisten lajikkeiden ulkoasu vaihtelee paljon. Heterogeenisestä aitosiemenestä tehtävä perunan lisääminen on myös mahdollista (Burton 1989, Struik ja Wiersema, 1999), mutta sen toteutus käytännössä on harvinaista. 2000-luvulla perunan maailmanlaajuinen viljelyala on vähentynyt, mutta lajikkeiden ja lannoituksen kehittyessä satotasot ovat nousseet (Alva 2004).

Tärkkelysperunan lajikkeet jaetaan useimmiten kategorioihin niiden aikaisuuden ja myöhäisyyden, eli sadon tuleentumisen ajankohdan perusteella, mutta on todettava, ettei jako ole täysin yksiselitteistä (Horton ja Sawyer 1985). Burtonin (1989) mukaan aikaisemmin tuleentuneiden lajikkeiden kuiva-ainepitoisuus on myöhemmin kypsyviä lajikkeita alhaisempi, sillä kuiva-ainepitoisuus suurenee kasvukauden edetessä. Perunan kuiva-ainepitoisuus vaihtelee lajikkeesta riippuen 13-37 prosenttiin, eli keskimäärin perunan kuiva-ainepitoisuus on 24% (Lisińska ja Leszczyński 1989). Loput 75% kuiva-aineesta koostuu vedestä. Perunan kuiva-aineesta noin 3/4 osaa on tärkkelyskomponentteja, mikä tekee siitä mukulan pää rakenneaineen (Lisińska ja Leszczyński 1989). Korkea tärkkelyspitoisuus on tavoiteltava ominaisuus etenkin perunan teollisuusviljelyssä, tärkkelyksen ollessa helposti jalostettavissa esimerkiksi elintarvikekäyttöön. Aikaiset lajikkeet ovat satoisia alkukauden nostoissa ja niiden sadontuotto

on riskittömämpää myöhäisiin lajikkeisiin verrattuna. Myöhäisillä lajikkeilla sato-määrä ja sen tärkkelyspitoisuus ovat suuremmat, mutta riskit kasvun epäonnistumi-selle kasvukauden vaihtelevuuden vuoksi ovat myös suuremmat (Bard ym. 2012).

Peruna vaatii kasvaakseen ilmavan ja huokoisen, sekä hyvin vettä läpäisevän maape-rän, mikä mahdollistaa juuriston optimaalisen kehittymisen (Burton 1989). Samaan aikaan perunat sietävät maaperän happamuutta useita muita viljelykasveja parem-min (Bucher ja Kossmann 2007). Perunakasvien mukulat kehittyvät juuriston rön-syjen päihin (Burton 1989), tosin jokainen muodostunut rön-sy ei automaattisesti indusoidu mukulantuotantoon (Struik ja Wiersema 1999). Perunan juuristo on matala (Burton 1989) mikä tarkoittaa, ettei se pysty hyödyntämään maaperän ravinteita yhtä tehok-kaasti kuin monet muut viljelykasvit (Sharifi ym. 2007). Tämän vuoksi ravinteiden, ku-ten esimerkiksi typen huuhtoutuminen on suuri riski perunan viljelyalueilla (Sharifi ym. 2007, Alva 2004).

Perunan kehitystä kasvukaudella seurataan BBCH-asteikon avulla. Asteikko huomioi kasvun eri vaiheet itämisestä ja taimettumisesta kukkimiseen, hedelmäkehitykseen ja kasvin kuihtumiseen (Hack ym. 1993). Tärkkelysperunan viljely on pääpiirteissään samanlaista kuin ruokateollisuusperunan viljely, mutta viljelyn tavoitteissa, ja sitä kautta lajikkeiden jalostuksessa on eroja. Tärkkelysperunan tuotannossa tavoitellaan sadolle korkeaa tärkkelyspitoisuutta, eikä esimerkiksi varastointikestävyydellä tai makuominaisuuksilla ole yhtä suurta merkitystä (Seppänen ym. 2008)

2.1.2. Typpi kasvun rajoittajana

Kaikki kasvit vaativat kasvaakseen makroravinteita, joita ovat hiili (C), vety (H), happi (O) fosfori (P), Kalium (K), typpi (N), rikki (S), kalsium (Ca), rauta (Fe) ja magnesium (Mg) (Strawn ym. 2015). Typpi on tärkeä ravinne monien kasvinosien muodostumisen

kannalta, ja typen määrällä on vegetatiivisen ja generatiivisen kasvun välistä tasapainoa ylläpitäviä vaikutuksia (Bucher ja Kossmann 2007). Kaikista perunan tarvitsemista maaotantaisista ravinteista typpeä tarvitaan eniten. (Williams ja Miller 2001).

Synteettiset typpilannoitteet ovat viime vuosisadalla olleet merkittävin syy satotasojen nousussa. Samalla ne liitetään usein myös luonnon saastumiseen ravinteiden huuhtoutumisen kautta (Meise ym. 2017). Makroravinteisiin kuuluva typpi on veden ohella yksi tärkeimmistä sadon määrään vaikuttavista tekijöistä (Strawn ym. 2015). Typpilannoitus muuttaa kasvien kemiallista rakennetta johtuen kasvien kyvystä ottaa sekä orgaanisia että epäorgaanisia typpiyhdisteitä maaperänesteestä (Lin ym. 2004). Maaperässä typpeä esiintyy useana erilaisena ioniyhdisteenä, joista tyypillisimpiä ovat nitraattityppi (NH_4^+) ja ammoniumtyppi (NO_3^-) (Marchner 1995). Ionien lisäksi maaperässä typpi on lisäksi usein sitoutuneena mineraaleihin (Marchner 1995, Mengel ja Kirkby 1987, Alva 2004). Maaperän ammoniumtyppi on pääasiassa sitoutuneena orgaaniseen ainekseen ja nitraattityppi on sitoutuneena saviainekseen, tai varastoituneena kasvin juurirakenteisiin (Marchner 1995), joskin nitraattityypin sitoutuminen maaperään on heikompaa (Alva 2004). Tästä johtuen nitraattityppi on ammoniumtyppeä alttiimpi huuhtoutumiselle.

Maaperän sisältämän ammoniumtypen määrän arviointi on hankalaa, sillä arviointiin vaikuttaa maaperänäytteen oton onnistuminen, samoin kuin näytteenoton syvyys (Meisinger 1984). Maaperän yhdisteisiin sitoutunut typpi on kasveille käyttökelttomassa muodossa (Marchner 1995). Typpikierron nopeudesta johtuen tarkkojen typpipitoisuuksien määrittäminen on vaikeaa, ellei jopa mahdotonta, sillä typen pitoisuuteen vaikuttavat useat maaperän prosessit ja luonnonolosuhteet (Mengel ja Kirkby 1987). Kasville käyttökelpoinen typpi on liuenneena maanesteeseen, minkä kautta se on kasvien juurten saavutettavissa (Marchner 1995). Typen maaperäkemiallinen kierto on hiilen ja rikin tavoin nopeaa, mutta monesta muusta ravinnekierroista poiketen typpikierto on yhteydessä ilmakehään (Strawn ym. 2015). Strawn ym.

(2015) mukaan maaperän orgaanisen aineksen typpipitoisuus on keskimäärin kolme massaprosenttia.

Typen ja muiden ravinteiden esiintymiseen vaikuttaa maalajiominaisuuksien ohella maaperän kosteus ja pH (Strawn ym. 2015). Tutkimuksessaan Strawn ym. (2015) toteavat kuitenkin, ettei keskimääräisten arvioiden pohjalta ole mahdollista tehdä oletuksia ravinteiden esiintymisestä, sillä pelto- ja lohko-kohtainen vaihtelu on varsin suurta. Esimerkiksi ravinteikkaassa maassa maanesteen nitraattitasot vaihtelevat 2-20 Mm:n välillä, kun tasot lannoituksen jälkeen puolestaan vaihtelevat 20-30 Mm välillä (Mengel ja Kirkby 1987). Liukoinen typpi on Strawn ym. (2015) mukaan kasvien yleisimmin hyödyntämä ravinnemuoto, joskin he toteavat myös, että liukoiset yhdisteet sisältävät maaperän typestä vain murto-osan.

Typpeä, kuten muitakin makroravinteita ja peruna tarvitsee kasvukauden aikana yli 10 kg hehtaaria kohden (Marchner 1995). Kasvukauden aikana typen hyödynnysmäärät vaihtelevat 2,0-5,8 kg/ha tasolla päiväkohtaisesti (Alva 2004). Mukulan laajenemisvaiheessa, joka kestää yleensä 60 päivää, typpeä tarvitaan aviolta 180 kg/ha optimaalisen kasvun takaamiseksi (Alva 2004). Perunan istutuksen yhteydessä lisätyllä sijoituslannoituksella sekä kasvusykliin optimoidulla lisälannoituksella on havaittu olevan vaikutusta mukulan aikaiseen kehittymiseen, mikäli lannoituksen yhteydessä myös vettä on saatavilla (Alva 2004). Perunan on mahdollista ottaa typpiyhdisteitä myös mukulan kuoren läpi (Lin ym. 2004), etenkin mikäli maaperän NO_3 -konsentraatio on korkea. Huomattavan korkealla typpipitoisuudella on kuitenkin todettu olevan vaikutusta mukulan tärkkelyspitoisuuden alenemisen kanssa (Bártová ym. 2012). Opsinan ym. (2014) mukaan typpimäärä vaikuttaa myös mukulan kuiva-ainesatoon, kokoon, typpipitoisuuteen sekä painon jakautumiseen. He eivät kuitenkaan huomanneet typellä olevan vaikutusta mukulan kuiva-ainepitoisuuteen (Opsina ym. 2014).

Opsina ym. (2014) toteavat tutkimuksessaan perunan tarvitsevan menestyäkseen runsaasti typpeä sen typenkäytön tehokkuuden ollessa alhainen. Osakin ym. (1995) mukaan parhaaseen kasvutulokseen perunalla päästään, mikäli saatavilla on sekä ammonium- että nitraattityppeä. Näillä kahdella tyypiladulla on vaikutusta eri kasvuvaiheissa, ja toisen puutos saattaa aiheuttaa typenottotehokkuuden laskua verrattuna tilanteeseen, joissa molempia on saatavilla (Osaki ym. 1995). Tutkimuksessaan Osaki ym. (1995) havaitsivat ammoniumtypen stimuloivan mukulakehitystä, kun nitraattityppi puolestaan stimuloi kasvuston haaroittumista sekä varsiston kasvua. Alva (2004) toteaa kuitenkin, että liiallinen typpilannoitus lisää perunan vihreiden osien kasvua sadontuotannon kustannuksella.

Burton (1989) toteaa, että riittävää typentarvetta on perunan kohdalla varsin haastavaa arvioida tarkasti. Useilla osatekijöillä onkin vaikutusta kasvukausikohtaiseen optimaaliseen ravinnetasapainoon (Burton 1989). Näitä osatekijöitä ovat esimerkiksi muiden ravinteiden saatavuus, maalaji, vesitasapaino, sääolosuhteet ja lämpötilavaihtelut. Lajikkeella on myös todettu olevan suuri vaikutus typen ottoon ja sen hyödynnystehokkuuteen (Opsina ym. 2014). Rop ym. (2009) toteavat tutkimuksessaan lannoitetypen lisäämisen nostavan saatavaa satoa, mutta saattavan aiheuttaa kuiva-ainemäärän alenemista.

2.1.3. Typen otto ja kuljetus

Kasvilajin ja lajikkeen lisäksi useat fysiologiset ja morfologiset tekijät vaikuttavat tehokkaaseen typen ottoon (Schum ja Jansen 2012), vaikka ravinteidenoton prosessit ovatkin yleisesti tarkasteltuna hyvin samankaltaisia kasvilajista riippumatta. Perunan typenoton mekanismeja ei ole tutkittu laajamittaisesti, toisin kuin esimerkiksi lituruohon, riisin tai tomaatin vastaavia mekanismeja (Bucher ja Kossmann 2007). Voidaan kuitenkin olettaa, että kaikilla korkeammin kehittyneillä kasveilla, eli rakenteel-

taan monimutkaisemmilla putkilorakenteisilla kasveilla (Williams ja Miller 2001), prosessien kulkua ja transporttereiden toimintaa koodataan samankaltaisten geenien avulla (Bucher ja Kossmann 2007). Perunan typen ottoa voidaan tämän perusteella verrata minkä tahansa kehittyneen kasvin ravinteidenottoon (Lin ym. 2004) ja useimmat ravinteidenoton mekaniikkaa käsittelevät tutkimukset on tehty lituruoholle (*Ariadopsis thaliana*).

Lituruohoa (*Arabidopsis thaliana*) käytetään mallikasvina ravinteidenottoa tarkastelevissa tutkimuksissa ja sen typen ottoa koordinoi nykytiedon mukaan neljä eri geeniperhettä. Nämä geeniperheet ovat nitraat-titransportteri 1 ja peptiditransportterit (Nitrate transporter 1 NRT1/ peptide transporter PTR), NTR2 transportterit, kloridikanavat (chloride channel CLC) ja hitaat anionikanavat (slow anion channels associated 1 homolog 3 SLAC1/SLAH) (Wang ym. 2012). Typen ottoa varten kasveille on kehittynyt kaksi erilaista metodia, jotka ovat rakentava alhaisen yhtäläisyyden kuljetus (low affinity transport system, LATS) ja alkuun paneva korkean yhtäläisyyden kuljetussysteemi (high affinity transport system, HATS). HATS jaetaan vielä kahteen alaryhmään, joita ovat indusoiva HATS (iHATS) ja perustava tai olennainen HATS (cHATS). (Bucher ja Kossmann, 2007). LATS-mekanismit ovat enemmän tekemisissä typen kuljetuksen kanssa, kun HATS-mekanismeilla puolestaan on suurempi merkitys varsinaisen typenoton kannalta (Wang ym. 2012). HATS:ien ja eri transporttereiden yhteistyöllä typpi yhdisteet, kuten nitraatti, siirretään maasta kasvin juuristoon (Wang ym. 2012).

Avaintekijänä typpi yhdisteiden otossa ovat NTR-transportterigeenit 1.1, 1.2, 2.1, 2.2 sekä 2.4. Nämä geenit aktivoivat ionipumppuja, minkä kautta sisään otettavan typen määrää kyetään säätämään (Wang ym. 2012). Nämä toimenpiteet tapahtuvat juuristossa sijaitsevien nitraattitransporttereiden NRT1 ja NRT2 vaikutuksesta kloridikanavien (CLC) ja hitaiden anionikanavien (SLAH3) avulla. Tarkasta prosessijärjestyksestä ja vaadittavista fysiologisista toimenpiteistä ei ole tarkkaa tietoa (Williams ja Miller, 2001).

Toinen mahdollinen typenoton reitti on proteiini fosforylaation kautta. Kloraattiresistenttinen transportteri CHL1, joka on yksi tunnistetuista NRT1-transporttereista, esiintyy juuren epidermissä ja kuorikerroksessa, sekä endodermisissä (Wang ym. 2012). Se on kaksoisyhtäläinen nitraattitransportteri, ja toimii sekä HATS:in että LATS:in kanssa. Systeemejä vuorottelemalla transportterit kykenevät siirtämään typpeä maasta juurten sisään. Kasveilla on myös muita prosesseja, joita ei ole tutkittu tarkemmin. Näitä kaikkia prosesseja vuorottelemalla kasvi pystyy ottamaan itselleen optimaalisen määrän typpeä olosuhteista ja kasvin tarpeesta riippuen (Wang ym. 2012).

On tärkeää, ettei typen siirron prosessissa tapahdu keskeytyksiä, sillä se saattaa johtaa kasvun häiriintymiseen tai mukulan epämuodostumiseen (Burton 1989). Suuri osa tyydestä tarvitaan perunan nopean kasvun vaiheessa, sillä kasvin muodostaessa lehtiä, vartta, juuristoa, kukintoja ja mukuloita on tarve suuri (Huett ja Dettmann 1992). Jotta typen kuljetus on mahdollista, tulee otettujen yhdisteiden käydä läpi typpiassimilaatioreaktio korkeasti entsyymisäädelyjen ja monien geenien kautta toimivien prosessien kautta (Bucher ja Kossmann 2007). He toteavat myös, että nitraattityppi (NO_3^-) assimiloidaan ensin nitraattireduktaasin avulla nitriitiksi (NO_2^-) ja siitä edelleen ammoniakiksi ja orgaanisiksi yhdisteiksi kuljetusta varten.

Myös ammoniumtyppi läpikäy samankaltaisen käsittelyn (Wang ym. 2012). Näitä prosesseja kutsutaan ammoniumreduktaaseiksi sekä nitraatti- ja nitriittireduktaasireaktoiksi ja niissä typpi muunnetaan ammoniakkiin (Wang ym. 2012). Ammoniakkiasimilaatio tapahtuu yleisesti kasvien juurissa, ja nitraatti- ja nitriittiassimilaatiota tapahtuu olosuhteista riippuen sekä juurissa, varressa että lehdissä (Williams ja Miller, 2001). Prosessit ovat verrannollisia fotosynteesissä tapahtuvaan hiilidioksidiasimilaatioon (Marschner 1995). Nämä prosessit vaativat energiaa, minkä seurauksena yhteyttämisen ja energian riittävyys ovat olennaisia osia typpiassimilaatiossa.

Kyseisten prosessien on myös todettu olevan pääasiassa nitraattitransporttereiden valvonnan alaisia (Wang ym. 2012).

Varsinainen kuljetus tapahtuu johtojänteen ksyleemissä (Marschner 1995), sillä etenkin nitraattitypen on todettu olevan liikkumaton nilassa (Alva 2004). Kuljetettavat yhdisteet, ammoniakki ja nitriittityppi, siirretään juurissa ksyleemisolukoihin, jossa ne kasvinesteeseen sitoutuneena hydrostaattisen paineen avulla kulkevat juurista varren ja lehtien solukoihin (Marchner 1995). Juuresta versoon kuljetuksen vastaavana transportterina on toistaiseksi tunnistettu toimivan nitraattitransportteri NRT1.5 (Wang ym. 2012). Kuljetuksen loppupäässä jälleen kationinvaihdon avustamana yhdisteet poistetaan ksyleemistä soluseinien läpi tyypeä tarvitseviin rakenteisiin (Marschner 1995). Indusioijana typen siirrossa ksyleemistä pois toimii NTR1.8 (Wang ym. 2013). Muita typen siirron indusioijia ovat esimerkiksi proteiinisynteesin tehokkuus, joka vetää nitraatteja kohdetta kohti.

Kuljetuksen jälkeen orgaanisessa muodossa olevat nitraatti- ja nitriittityppi läpikäyvät nitraatti- ja nitriittiassimilaation, jossa ne muutetaan myös ammoniakkimuotoon eli NH_3 :ksi (Marschner 1995). Nitraatti- ja nitriittiassimilaatiot kuluttavat paljon energiaa, minkä vuoksi niiden toteuttaminen kasvin vihreissä osissa on kasvin kannalta edullisempaa. Näin kasvi kykenee säästämään energiansiirtokuluissa (Bucher ja Kossmann 2007). Assimilaatioiden jälkeen typpi on ammoniakkimuodossa, josta se jalostetaan edelleen muun muassa aminohapoiksi, amideiksi, peptideiksi ja amineiksi (Marschner 1995). Yhdisteiden muuntaminen tapahtuu pääasiallisesti glutamaatti synteesi - glutamiini oxoglutaraatti aminotransferaasientryymikierron (GS-GOGAT-kierto) kautta (Bucher ja Kossmann 2007). Tuotetuista alkutuotteista tyyppiyhdisteet jalostuvat edelleen esimerkiksi proteiineiksi ja nukleiinihapoiksi (Marschner 1995).

Typen kulkeutumisesta rakenteista alaspäin nilassa on hyvin vähän tutkimustietoa (Lin ym. 2004). Typen, etenkin NO_3 -typen oletetaan yleensä olevan hyvin heikko nilassa liikkuja, eli kuljetuksen aikainen sitoutuminen nilan yhdisteisiin ei ole kovin tehokasta. Uusimmissa tutkimuksissa pienimääräistä typen siirtoa nilan kautta sitä tarvitseville kasvinosille on kuitenkin havaittu (Wang ym. 2012). Pääasiallinen typen nilakuljetus tapahtuu vanhoista lehdistä uudempiin, typpeä enemmän tarvitseviin, lehtiin (Wang ym. 2012). Tutkimustuloksesta voidaan päätellä, että pitkän matkan kuljetus tapahtuu pääasiassa ksyleemissä, kun taas lyhyen matkan kuljetusta voi tapahtua sekä ksyleemissä että nilassa (Wang ym. 2012).

Korkeammilla kasveilla havaitaan typen kulkeutumista sato-osiin. Typpi on tällöin pääasiallisesti sitoutuneena aminohappoihin sekä proteiineihin, joita tuotetaan kasvin vihreissä osissa (Bucher ja Kossmann 2007). Kuljetus alaspäin tapahtuu johtojänteen nilassa ja ksyleemissä. Nilassa kuljetuksesta huolehtii NRT 1.9. Ksyleemissä kuljetuksesta huolehtivaa nitraattitransportteria ei ole vielä tunnistettu (Wang ym. 2012). Tärkeitä tekijöitä alaspäin kuljetettaessa ovat aminotyyppitransportterit, sukkroositransportterit sekä kaliumkanavat (Patrick ym. 2001). Nitraattityppi päättyy tutkimusten mukaan yleisimmin mukulaan erilaisina yhdisteinä, kun ammoniumtyppi vuorostaan indusoi version ja yhteyttävien osien kasvua (Osaki ym. 1995).

2.1.4. Typen suhde proteiinituotantoon

Typpilannoituksen lisäyksellä on positiivinen vaikutus niin proteiini-, tärkkelys kuin nitraattipitoisuuteenkin (Lin ym. 2004). Lajikkeella, maaperän typpipitoisuudella, lannoitustasolla, siemenen alkuperällä sekä vuotuisella sääolosuhteiden vaihtelulla on vaikutusta perunassa esiintyvien vapaiden aminohappojen määrään (Rexen 1976). Arviolta kahdeksasta kymmeneen prosenttia perunan kokonaistypestä on liukene-mattomassa muodossa (Burton 1989). Liukoista typpeä perunassa on arviolta yli 50% (Rastovski ja van Es ym. 1981). Typpilannoitusta lisättäessä typen kokonaismäärä

kuiva-aineessa saattaa kasvaa, mutta yksittäisten aminohappojen pitoisuuksissa saattaa tapahtua laskua (Rexen 1976). Jokaisen lajikkeen kohdalla esiintyy luonnollisesti eroavaisuuksia typpipitoisuuksissa, ja suurten typpilannoitusmäärien on todettu kasvattavan raakaproteiinin määrää sekä sen kautta perunan proteiinisatoa huomattavasti (Rexen 1976). Samalla suurten typpimäärien lisäämisen on todettu alentavan proteiinien laatua, mutta jälleen lajikkeilla on vaikutusta alentumisen määrän suuruuteen (Rexen 1976).

Suuret typpilannoitemäärät yhdistettynä kosteuden aiheuttamiin stresseihin saattavat aiheuttaa korkeita nitraattipitoisuuksia perunan mukuloissa (Rastovski ja van Es ym. 1981). Verrattuna optimaalisiin kasvuolosuhteisiin, saattavat nitraattitasot kasvaa jopa kaksinkertaisiksi, mikäli typpilannoitusmäärä on korkea tai kuivuusstressin aika pitkä (McDole ja McMaster 1978). Typpilannoituksen lisäämisellä ei myöskään välttämättä saavuteta kuiva-ainepitoisuuden kasvua, sillä suuren typpimäärän vaikutus saattaa johtaa jopa kuiva-ainepitoisuuden alenemiseen (Rexen 1976, Rop ym. 2009). Desbourghin ja Weiserin (1974) mukaan perunaproteiini sisältää noin 13,5% typpeä. Rexenin (1976) arvioi raakaproteiinin typen osuudeksi noin 16%. Rexen (1976) osoittaa tutkimuksissaan perunan kuiva-aineen typpipitoisuuden vaihtelevan 1,31% ja 1,5% välillä. Näissä tutkimuksissa kuiva-aineen osuus perunan tuorepainosta vaihteli 26 ja 28 % välillä.

2.2. Proteiini perunassa

2.2.1. Perunan proteiini ja sen laatu

Vaikka tärkkelysperunaa viljellään ensisijaisesti sen tärkkelyspitoisuuden vuoksi, on sillä myös erinomainen proteiinisato (Rexen 1976). Koko tuorepainosta keskimäärin noin 1,5% on proteiinikomponentteja (Lisińska ja Leszczyński 1989), mutta määrä vaihtelee lajikkeen ja kasvukauden mukaan. Perunalla on tärkeä rooli tärkkelystuotannossa ja sen proteiini- ja ravintoarvot jäävät usein vaille huomiota (Eppendorfer ja Eggum 1992). Noin 75% perunassa esiintyvistä proteiineista ovat liukoisessa muodossa osana vesi- ja suolaliuoksia (Peksa ym. 2009). Perunaproteiinilla on suuri biologinen ja ravinteellinen arvo (Burton 1989, Lisińska ja Leszczyński 1989). Euroopan olosuhteissa yleinen perunaproteiinisato voidaan laskea noin 600-800 kg:n suuruiseksi hehtaaria kohden (Eppendorfer ym. 1978).

Mukuloiden raakaproteiini koostuu useista eri osioista, joista tärkeimmät ovat proteiinit, amidit ja vapaat aminohapot (Eppendorfer ym. 1978). Peksa ym. (2009) toteavat globulaaristen eli kompakteihin rakenteisiin laskostuneiden proteiinien kattavan arviolta 75-85 prosenttia perunan sisältämästä kokonaisproteiinista. Loput 25 prosenttia koostuu liukeamattomista proteiinosista, joita esiintyy soluseinämissä sekä muissa rakenteissa. Perunan kuiva-aineesta keskimäärin noin 7-8 prosenttia on raakavalkuaista (Lisińska ja Leszczyński 1989) ja perunan proteiinit koostuvat noin 18-20:sta eri aminohaposta, joiden vaihteluun luonnonolosuhteilla on vain vähän vaikutusta. Proteiinipitoisuudella ja kuiva-aineen kasvulla on osoitettu olevan keskinäistä korrelaatiota (Lisińska ja Leszczyński 1989).

2.2.2. Proteiinimäärään vaikuttavat tekijät

Ruokaperunan tuotannossa proteiinipitoisuudella on selkeä ravintoarvollinen tarkoitus, mutta teollisuuskäyttöön tarkoitettussa tärkkelysperunassa proteiinipitoisuudella ei ole yhtä suurta roolia (Rexen 1976). Aminohappoketjuihin ja sitä kautta lyhytketjuisten proteiinien muodostumiseen vaikuttaa vahvasti perimä, minkä vuoksi ravinteita lisäämällä tai muilla viljelytekijöillä ei voida vaikuttaa suoraan proteiinimäärään. Kuiva-aineen typpipitoisuuden lisääntyminen korkean typpitason tai fosforin ja kaliumin puutteen vuoksi alentaa raakaproteiinipitoisuutta kaikkien aminohappojen kohdalla (Eppendorfer ja Eggum, 1992). Vapaiden aminohappojen sekä etenkin amiidien pitoisuuteen viljelytekijöillä on suuri vaikutus (Mulder ja Bakema 1956) Tärkkelysperunatuotannossa perunan solunesteestä on kuitenkin mahdollista erottaa proteiini jalostettavaksi muihin käyttötarkoituksiin, joskin tässä tapauksessa perunaproteiinin laatu on tärkeää (Rexen 1976). Perunaproteiini on Rexenin (1976) mukaan herneitä ja papuja laadukkaampaa sen korkean metioniinipitoisuuden ansiosta, sekä viljaproteiineja parempaa sen korkean lysiniinipitoisuuden ansiosta. Proteiinin määrää on kuitenkin vaikea arvioida vain perunan ulkoisten ominaisuuksien pohjalta, esimerkiksi Desbourghin ja Weiserin (1974) mukaan mukuloiden tuorepaino ei korreloi merkittävästi mukulan proteiinipitoisuuteen.

Rexen (1976) osoittaa tutkimuksessaan, että typpilannoituksen määrällä tai lajikkeella ei ole merkittävää vaikutusta tärkeimpien aminohappojen metioniinin ja isoleusiinin määrän kannalta. He osoittavat myös, että muutamia aminohappojen määrä korreloi negatiivisesti typen pitoisuuden kasvuun poikkeuksia lukuun ottamatta. Samanlaisiin tuloksiin tulivat myös Eppendorfer ym. (1979), joiden mukaan typen lisääminen on yhteydessä raakaproteiinin sekä useiden aminohappojen määrän alenemiseen. Kuitenkin samaan aikaan asparagiini- ja glutamiinihappopitoisuudet kasvavat (Rexen 1976; Eppendorfer ym. 1979). Rexen (1976) osoittaa mukulan sisältämän typen pitoisuuden lisääntymisellä olevan korkeintaan 35%:n vaikutus aminohappopi-

toisuuksiin. Raakaproteiinin aminohapporakenteen koostumukseen vaikuttaa enemmän typen kokonaispitoisuus kuin sen muutoksiin johtaneet syyt (Eppendorfer ym. 1979). Desboroughin ja Weiserin (1964) mukaan perunaproteiini sisältää noin 13,5 prosenttia puhdasta typpeä. Rexen (1976) arvioi kuitenkin raakaproteiinin typpiosuudeksi 16 prosenttia. Ei-proteiinitypen (non-protein nitrogen, NPN) määrä perunan mukuloissa on arviolta 40 % kokonaistyyppipitoisuudesta ja siihen vaikuttaa suuresti muiden ravinteiden kuin typen määrä (Eppendorfer ym. 1979). Varastoinnissa perunan proteiinipitoisuus alenee noin kolme prosenttia, mikä saattaa johtua tärkkelyksen hajotuksesta soluhengityksen seurauksena (Desborough ja Weiser 1974).

3. TUTKIMUKSEN TAVOITTEET

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, voidaanko typpilannoituksella ja lajikevalinnalla vaikuttaa tärkkelysperunan proteiinipitoisuuteen. Tulosten perusteella pyrittiin selvittämään, mikä on hyvän tärkkelys- ja proteiinisadon tuottamisen kannalta paras typpilannoitustaso, lajike ja noston ajankohta. Lisäksi tutkittiin perunan typenkäytön tehokkuutta ja typenoton dynamiikkaa kasvukauden aikana ja pyrittiin selvittämään, onko aikaisten ja myöhäisten lajikkeiden välillä eroa typenkäytön tehokkuudessa. Lopuksi pyrittiin tarkastelemaan, onko mukulan tärkkelys- ja proteiinipitoisuuden yhteyttä. Nämä tavoitteet tiivistyvät myös tutkimuskysymyksissä:

- Voidaanko aikaisen tai myöhäisen tärkkelysperunalajikkeen valinnalla vaikuttaa proteiinisatoon?
- Vaikuttaako proteiinisatoon eniten lajike, kasvupaikka, nostoajankohta vai typpilannoitustaso?
- Onko lajikkeiden välillä eroa typenkäytön tehokkuudessa?
- Mikä on tuotannon kannalta paras typpilannoitustaso?
- Millainen suhde tärkkelys- ja proteiinisadoilla on keskenään?

4. AINEISTO JA MENETELMÄT

4.1. Taustatiedot

Koe toteutettiin Perunantutkimuslaitoksen tärkkelysperunan lajikekokeen yhteydessä kesällä 2016. Koe toteutettiin osaruutukokeena satunnaistetuin lohkein kolmena kerranteena. Koejäsenenä oli kolme typpilannoitustasoa: 80, 100 ja 120 kg N/ha. Näistä 80 kg N/ha on yleisimmin viljelyssä käytetty typpilannoitustaso. Samanlainen koe järjestettiin kahdella paikkakunnalla: Ylistaron Untamalassa Etelä-Pohjanmaalla (N 63.005599°, E 22.538159°) ja Köyliössä Satakunnassa (N 61.164890°, E 22.323564°). Ylistarossa maaperä oli runsasmultaista hienoa hietaa ja Köyliössä multavaa hietamoreenia. Lohkot erosivat maalajin ja sijainnin lisäksi erityisesti maan kalsiumpitoisuudessa, joka oli Ylistarossa 1409 yksikköä ja Köyliössä 1100 yksikkö. Koe- paikkojen maan ravinnepitoisuudet on esitetty kokonaisuudessaan liitteissä (LIITE 1). Molempien lohkojen pH oli 6,3. Ylistaron koealueella oli viljelty viljaa kymmenen vuotta ennen kokeen perustamista. Köyliössä peltolohkolla oli pitkä perunanviljelyhistoria asianmukaisella kasvivuorotuksella.

Tutkittavia perunalajikkeita valittiin kaksi: myöhäinen lajike Kuras (0715(G.J.Kuper)-1523141) ja aikainen lajike Tanu (0715(Hankkija)-1541161). Aikainen Tanu on satoisa, runsasmukulainen lajike, joka on hyvän tärkkelyssadon tuottaja alkukauden nostoissa. Mukulat ovat pienehköjä ja tärkkelyspitoisuus on lajikkeen aikaisuuteen nähden korkea. Suomessa jalostettu Tanu kestää varastointia kohtuullisesti, ja lajiketta käytetään laajasti tärkkelystuotannossa, sillä se tuottaa hyvän sadon ja korkean tärkkelyspitoisuuden tiheässä kasvustossa (Boreal Kasvinjalostus Oy 2017). Myöhäinen lajike Kuras on tällä hetkellä yksi käytetyimmistä tärkkelyslajikkeista, joka tuottaa korkean sadon sekä suurikokoisia mukuloita. Kuras on kestävä perunaruttoa ja anke-roista vastaan, ja se kestää varastointia hyvin (The European Cultivated Potato 2018). Siemenperunat saatiin Lapuan Peruna Oy:n välityksellä ja ne olivat A-luokan siemenkokoa 30-35 mm.

4.2. Aineiston kerääminen kasvukaudella

4.2.1. Kasvukausi

Köyliön koe istutettiin 12.5. Siemenperunoiden idätysaika oli lyhyt ja istutustiheys oli 26 rivivälin ollessa 80 cm. Ylistaron koe istutettiin samaa istutustiheyttä käyttäen 1.6. ja siemenperunoiden idätys aloitettiin 5.5. Ennen istutusta siemenperunat peitattiin Moncutilla (Nichino, USA) ja istutus tehtiin Kuppi-Juko -laitteella (Juko, Suomi). Peruslannoitus toteutettiin kahdella tuotteella, jotka olivat YaraMila HeVi1 1000 kg/ha päälannoitteena sekä ja Somen salpietari 75 / 150 kg/ha (N20/40) lisälannoitteena. Päälannoite sijoitettiin ennen kylvöä 15-17 cm syvyyteen ja lisälannoitteet levitettiin kasvuruudun pintaan ennen istutusta. Multaaminen tapahtui penkkien muotoilulla istutuksen yhteydessä. Rikkakasvi ja tautitorjunta tehtiin kemiallisesti ja ruiskutusten päivämäärät sekä käytetyt aineet on lueteltu tarkemmin liitteissä (LIITE 2).

Kokeilta tehtiin taimettumishavainnot, jonka jälkeen kasvuston kehitystä havainnoitiin Ylistarossa kuusi ja Köyliössä kolme kertaa kasvukauden aikana. Lisäksi kasvuasteen havainnointi toteutettiin tarkennetun BBCH-asteikon (Hack ym. 1993) avulla (LIITE 3), joka on myös Perunantutkimuslaitoksen käytössä. havainnoitiin kasvinostojen yhteydessä. Kasvuasteen lisäksi mitattiin korkeus, sekä havainnoitiin kasvuston peittävyysprosentti elokuun puoliväliin saakka.

Kasvinostoja tehtiin kummallakin koepaikalla neljä kertaa, ja ne pyrittiin ajoittamaan kokeiden kesken ajallisesti mahdollisimman lähelle toisiaan. Ensimmäinen koenosto pyrittiin ajoittamaan ajankohtaan, jolloin lehtialaindeksi (LAI) oli maksimissaan. Tämä ajankohta osui heinäkuun loppuun ja ensimmäinen nosto suoritettiin Köyliössä 21.7. ja Ylistarossa 29.7. Seuraavat kaksi koenostoa toteutettiin kasvukauden keskellä elokuussa (Köyliössä 8.8. ja 24.8 sekä Ylistarossa 11.8. ja 30.8.) ja viimeinen koenosto tehtiin syyskuun loppupuolella (Köyliössä 23.9. ja Ylistarossa 21.9.). Koenostoissa jo-

kaisesta koeruudusta valittiin satunnaisotannalla kaksi kasvia, ja analyysia varten niiden sato-osat yhdistettiin yhdeksi näytteeksi. Kasvi jaettiin lehtiin, varsiin ja mukuloihin, joista mukulat käsiteltiin erikseen. Näin toivottiin selviävän, mikä osa tyypestä lopulta kulkeutuu mukuloihin. Noston yhteydessä laskettiin mukulaluku, sekä varsien lukumäärä ja haaroittuneisuus sekä juuriston rönsyjen lukumäärä. Koenostojen jälkeen maanpäälliset osat ja mukulat säilytettiin muovipusseissa nesteen haihtumisen estämiseksi. Kasvuston lehtialaindeksi (LAI) mitattiin jokaisen kasvunoston yhteydessä LAI-2000 Plant Canopy Analyzerillä (LI-COR, USA).

4.2.2. Sadonkorjuu ja korjuun jälkeinen käsittely

Kasvien tuorepaino mitattiin mahdollisimman nopeasti jokaisen kasvunoston jälkeen. Kasvien varret ja lehdet punnittiin kokonaisina vaa'alla, jonka jälkeen ne silputtiin (Hege Maschinen HEGE 44, Saksa) kuivauksen nopeuttamiseksi. Kuivaus suoritettiin Memmert (Saksa) lämpökaapeissa 60 °C 2-3 vuorokautta, kunnes kosteus oli haihtunut. Tämän jälkeen punnittiin kasvien kuivapaino, ja näytteet yhdistettiin ruutukohtaisiksi näytteiksi laboratorioanalyysiä varten. Näytteet analysoitiin Luonnonvarakeskuksen laboratoriossa Jokioisilla. Kuivatut kasvinosat jauhatettiin ja niistä tehtiin gravimetrisesti akkreditoitu kuiva-ainemääritys sekä kokonaistyyppimittaus Dumas-menetelmällä Leco-analysaattorilla.

Mukuloiden paino punnittiin kasvikohtaisesti, jonka jälkeen kasvikohtaiset näytteet yhdistettiin ruutukohtaisiksi näytteiksi seuraavia analyyskejä varten. Perunat pestiin ja niistä määritettiin ominaispainomenetelmän avulla laskennallinen tärkkelys- ja kuiva-ainepitoisuus. Näitä laskukaavoja käytetään yleisesti sekä teollisuudessa että tutkimuslaitoksilla.

$$\text{Ominaispaino} = \frac{\text{Mukuloiden paino ilmassa}}{(\text{Mukuloiden paino ilmassa} - \text{Mukuloiden paino vedessä})}$$

$$\text{Tärkkelyspitoisuus} = (\text{Ominaispaino} * 214,53) - 217,76$$

$$\text{Kuiva-ainepitoisuus} = (21,182 + 211,04) * (\text{Ominaispaino} - 1,0998)$$

Solunestenäytteiden erottamista varten ruutukohtaisesta näytteestä valikoitiin satunnaisotannalla mukuloita jokaisesta kokoluokasta, kunnes erotettua saatiin vähintään 100 ml solunestettä laboratorioanalyysiin. Solunesteen erotuksessa pyrittiin jäljittelemään mahdollisimman tarkasti teollisuuden vastaavia prosesseja laboratoriomittakaavassa. Solunesteen erottamiseksi perunan mukulat murskattiin Philips HR1855-mehulingolla (Kuva 1a). Tämän jälkeen soluneste ja tärkkelys (Kuva 1b) erotettiin toisistaan kolminkertaisen suodatuksen avulla. Ensimmäinen suodatus tehtiin harsokankaan läpi ja kaksi viimeistä tavanomaisen kahvisuodatinpaperin läpi. Näytteet pullotettiin ja lähetettiin Luonnonvarakeskuksen laboratorioon Jokioisille, missä näytteet sentrifugoitiin. Näytteiden kokonaistyyppi- sekä nitraattipitoisuus määritettiin Skalar-autoanalyysaattorilla. Näytteiden proteiinipitoisuus määritettiin kokonaistyyppipitoisuuden avulla.

$$\text{Proteiinipitoisuus} = \text{Kokonaistyyppipitoisuus} * 6,25$$

a)



b)



Kuva 1a Perunan rakenne rikottiin mehulingon avulla, jotta soluneste saatiin eroteltua teollisuuden vastaavaa prosessia jäljittelevällä tavalla.

Kuva 1b Soluneste (ruskea) erotettiin tärgkelyksestä suodatuksen avulla. Ennen suodatusta suurimpien tärgkelyshiuksien annettiin kuitenkin laskeutua nesteen pohjalle prosessin nopeuttamiseksi

4.3 Tulosten laskeminen ja tilastollinen analyysi

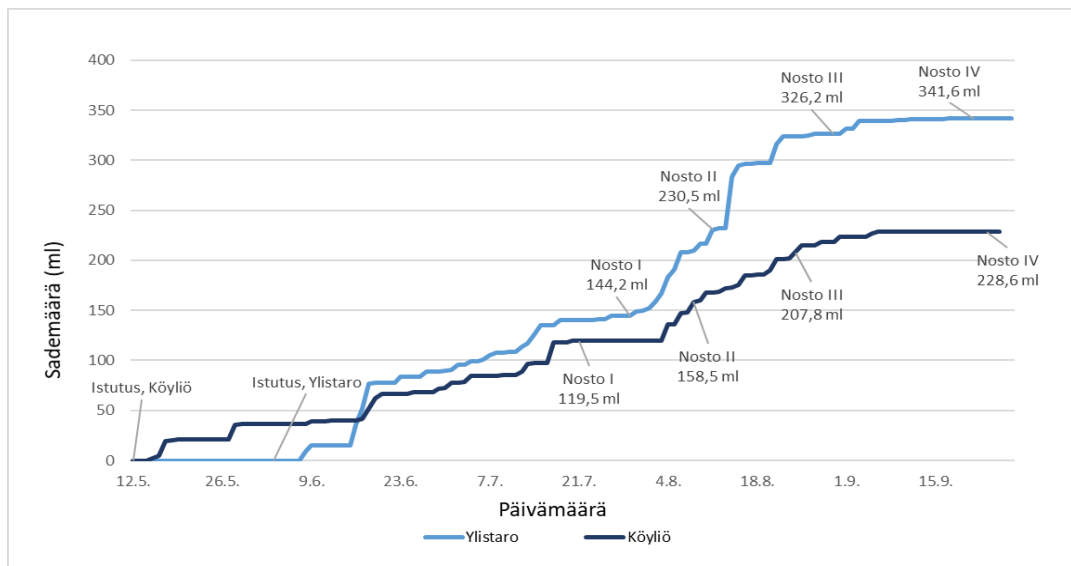
Tulosten analysointiin käytettiin SAS-ohjelmiston (Statistical Analytics System, SAS Institute, North Carolina, USA) versiota 9.4.4. Tilastollisessa analyysissä ajettiin kuvai-levia tunnuslukuja ja havaintojen merkitsevyyttä testattiin Pearsonin lineaarikorrelaatiolla sekä yleisillä lineaarisilla malleilla, joka on tavallisen regressioanalyysin laajennus. Tämä laajennus sallii luokitteluasteikolliset riippumattomat, eli selittävät, muuttujat ja niiden yhdysvaikutukset. (General Linear Model-GLM). Analyysillä pyrittiin arvioimaan mukuloiden ja lehtien typenhyödynnystehokkuutta sekä kokonais-

ja nitraattityppipitoisuuksien tilastollista merkitsevyyttä. Lisäksi tuloksista ajettiin korrelaatioita, joiden avulla pyrittiin selvittämään eri muuttujien keskinäistä riippuvuutta. Vertailukohtana käytettiin neljää perusmuuttujaa, jotka olivat lajike, koe-
paikka, typpilannoitustaso sekä nostoajankohta.

5. TULOKSET

5.1 Sääolosuhteet kasvukaudella

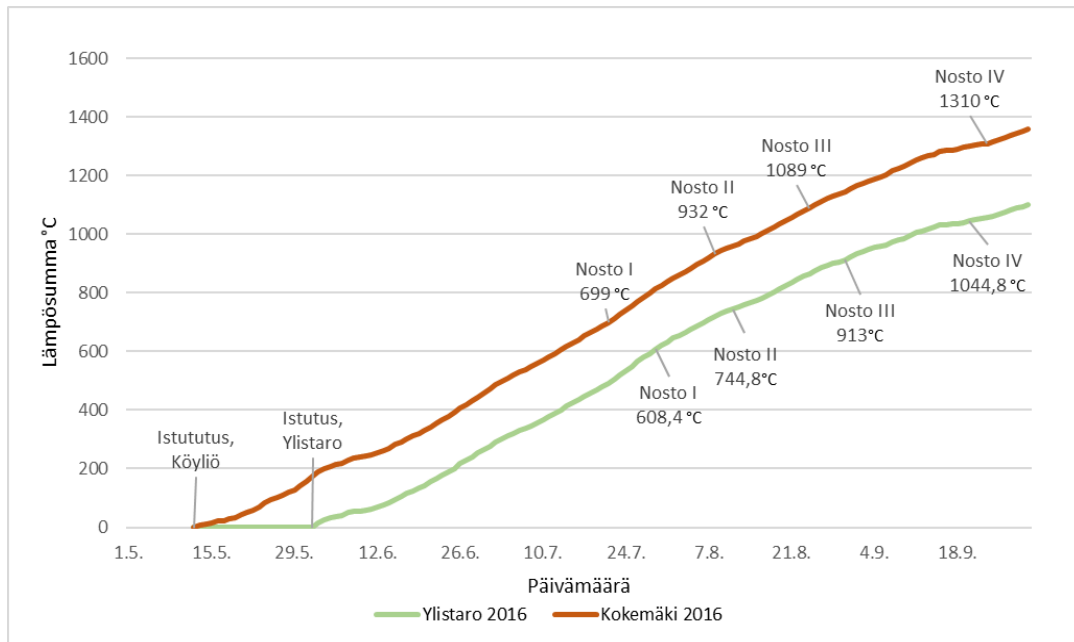
Sadesummakertymän laskeminen aloitettiin kummankin kokeen kohdalla istutuspäivämäärästä. Kuvasta 2 voidaan havaita, että koepaikkojen välillä oli huomattavaa eroavaisuutta kasvukauden sademäärissä. Noin kesäkuun puoliväliin saakka sekä aina ensimmäiseen kasvunostoon saakka kokonaissademäärät olivat yhtenevät. Ylistarossa satoi kesäkuussa ja elokuussa muutamia enemmän, minkä seurauksena Ylistaron kokonaissademäärä oli loppunostossa yli 110 ml Köyliötä korkeampi. Tämä näkyy myös koenostojen vertailtaessa, sillä II ja III noston välillä Ylistaron kokeen sadesummakertymien erotus on noin 100 ml, kun Köyliössä vastaava ero oli noin 50 ml. Köyliössä sade jakautui varsin tasaisesti koko kasvukauden ajalle. Elokuun sademäärä oli Ylistarossa lähes 200 ml, kun Köyliössä vastaava sademäärä oli noin 100 ml.



Kuva 2 Sademäärän kertyminen istutuksesta viimeiseen koenostoon Ylistarossa ja Köyliössä kasvukaudella 2016. Kuvaan merkitty myös kasvunostoon mennessä kertynyt sadesumma.

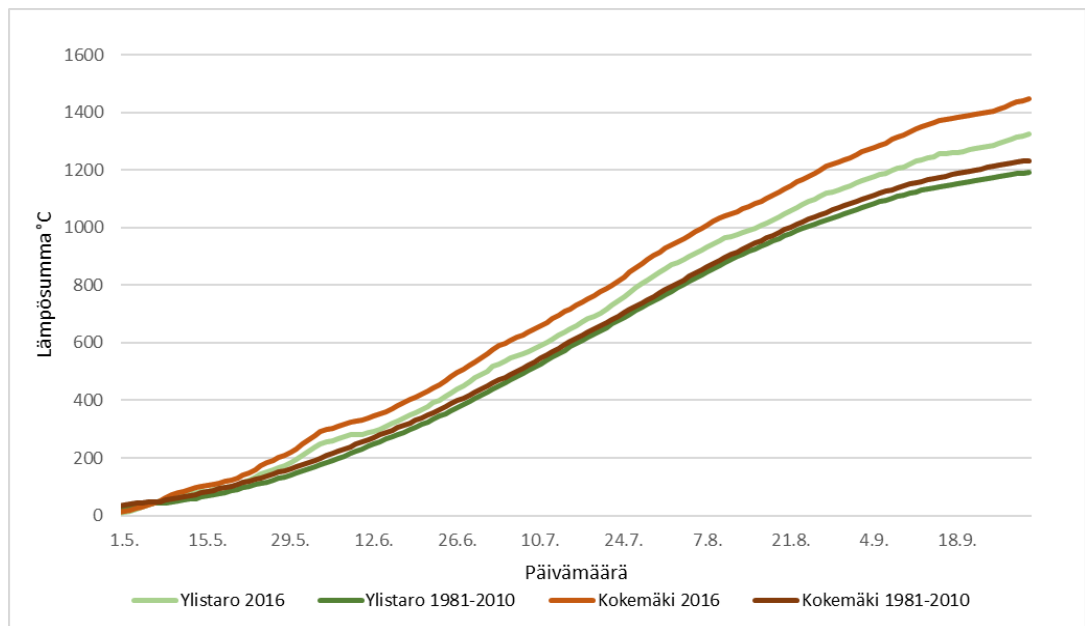
Koko kesän lämpösummakertymän tarkkailussa käytettiin koepaikkoja lähinnä olevia Ilmatieteenlaitoksen sääasemien lämpötilahavaintoja Ylistaron kokeen osalta Ylistaron LuKe:n koeasemalta, ja Köyliön kokeen osalta Kokemäeltä. Kuva 3 havainnollistaa

kesän 2016 lämpösummien kertymistä koepaikoilla. Toukokuun loppupuolella Kokemäellä lämpösumman kertyminen oli nopeaa, mutta viileä kesäkuun alku näkyy käyrässä tasaisempaan jaksoneen sekä Kokemäen että Ylistaron lämpösummakertymisessä. Lämpösumman kehitys oli molemmilla koepaikoilla tasaista läpi kasvukauden elokuuhun saakka, jonka jälkeen Ylistaron lämpösummakertymän kasvu hidastuu Köyliöön verrattuna. Loppunostojen yhteydessä lämpösummakertymien ero on yli 250 °C.



Kuva 3 Lämpösummien kertyminen koepaikoja lähinnä sijaitsevilla ilmatieteenlaitoksen sääasemilla Ylistarossa ja Kokemäellä kasvukaudella 2016. Lämpösummat on laskettu istutuksesta viimeiseen koenostoon. Kuvaan on merkitty myös kasvunostokohtaiset lämpösummat.

Terminen kasvukausi oli 2016 molemmilla koepaikoilla lämpimämpi vertailtaessa 20 vuoden keskiarvoihin aikavälillä 1981-2010 (Kuva 4). Kasvukauden loppuun mennessä Kokemäen lämpösumma oli keskiarvoihin verrattuna noin 200 °C korkeampi, ja Ylistarossa vastaava asteluku on noin 150 °C keskiarvoa korkeampi. Kasvukauden alku oli molemmilla paikkakunnilla tavanomaista kylmempi, mutta toukokuun lopusta kesäkuun alkuun sekä Ylistarossa että Köyliössä oli keskiarvoihin verrattuna korkeampi lämpösummakertymä. Elokuun alkupuolella Köyliön lämpösummakertymä oli Ylistaroa hieman nopeaa ja lämpösumman kertyminen jatkui pidempään.



Kuva 4 Paikkakuntaakohtainen lämpösummakertymä kasvukaudella aikavälillä 1.5.-30.9.2016. Havainnot tehty koepaikkoja lähimmiltä ilmatieteenlaitoksen havaintoasemilta Ylistarossa ja Kokemäellä. Kuvassa näkyvillä myös vertailukauden 1981-2010 keskimääräinen lämpösummakertymä.

5.2. Kasvuston rakenne

Perunalajikkeiden välinen ero niiden kasvuston kehittämisessä oli selkeä. Ylistarossa kasvien lehtialaindeksi (LAI) oli Tanulla suurimmillaan I nostossa ja Kuraksella suurimmillaan II nostossa, mutta aleni kasvukauden edetessä (Taulukko 1). Köyliön LAI aleni molemmilla lajikkeilla jokaisessa nostossa kasvukauden edetessä (Taulukko 2). Köyliön I nostossa Kuraksen LAI vaihteli 5,06 – 5,74 välillä ja Tanun LAI 4,15 – 5,22 välillä. Ylistarossa vastaaviin arvoihin päästiin vasta II nostossa, mikä viittaa hitaampaan alkukehitykseen ja koepaikkojen väliseen eroon lämpösummakertymässä. Molemmilla kokeilla IV nostossa havaitaan LAI:n, tuorepainon selkeää alentumista kasvuston ränistyessä Kuraksen LAI vaihtelu oli suurempaa, sillä Ylistarossa arvot olivat 1,02 - 0,68 välillä ja Köyliössä 2,44 - 2,66 välillä.

Kuraksen maan päällisen kasvuston tuore- ja kuivapainot olivat Tanua korkeampia molempien koepaikkojen kaikissa nostoissa (Taulukot 1 ja 2). Myös varsien haaroittuneisuus on Kurakselle tyypillisempää kuin Tanulle, jolla haaroja esiintyi yksittäisillä kasveilla. Haaroittuneisuutta esiintyi runsaammin Köyliössä molemmilla lajikkeilla. Kuraksella rönsyjen lukumäärä oli korkeampi jo ensimmäisessä nostossa, mikä viittaa Tanua suurempaan satopotentiaaliin. Rönsyjen lukumäärässä ei kummallakaan koepaikalla tapahtunut muutosta kasvukauden edetessä. Tanun rönsylukumäärä vastasi Kurasta paremmin nostettujen mukuloiden lukumäärää, eli Tanun rönsyjen indusoitumisen voidaan todeta olevan Kurasta tehokkaampaa molemmilla koepaikoilla. Typpilannoituksen lisääminen nosti Ylistarossa muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta rönsyjen lukumäärää (Taulukko 1), mutta se ei lisännyt vastaavasti mukuloiden lukumäärää kummallakaan koepaikalla. Köyliössä typpilannoituksen lisääminen ei nostanut kummankaan lajikkeen rönsyjen lukumäärää (Taulukko 2).

Mukulapaino oli aikaisella Tanulla I nostossa myöhäistä Kurasta suurempi molemmilla paikkakunnilla. Ylistaron III ja IV nostoissa ja Köyliön nostoissa II, III ja IV Kuraksen mukulapaino oli kuitenkin jo selvästi Tanua suurempi. Kaikissa kasvunostoissa Köyliön kokeen Kuraksen keskiarvoiset mukulapainot olivat huomattavasti Ylistaron kokeen mukulapainoja suurempia. Köyliössä Kuraksen keskiarvoiset mukulapainot vaihtelivat I ja II nostoissa 940-2248 g välillä ja III ja IV nostoissa 2240-3275 g välillä (Taulukko 2). Ylistarossa mukulapaino oli I nostossa molemmilla lajikkeilla noin 100-300 g Köyliötä alhaisempi (Taulukko 1). Kuraksen mukulapainot olivat Köyliön II, III ja IV nostoissa noin 1000-1500g Ylistaron mukulapainoja suurempia kaikissa typpilannoitusluokissa. Tanulla erot olivat 200-400 g välillä.

Mukuloiden määrä pysyy läpi kasvukauden noin saman suuruisena (Taulukko 1 ja 2). Ylistaron kokeella Kuraksen mukulamäärä on jokaisessa lannoitusluokassa korkeampi, kuin saman lannoitustason Tanulla. Köyliössä Tanulla on puolestaan yhtäsuuri tai korkeampi mukulamäärä kuin Kuraksella. Mukuloiden lukumäärässä ei myöskään

havaittu suoraa yhteyttä typpilannoituksen lisäämiseen. Köyliössä Kuraksen mukulapaino laski I ja II nostoissa typpilannoitusta lisättäessä. Kuraksen mukulat ovat molemmilla kokeilla Tanua suurempia ja mukuloiden koko kasvoi kasvukauden edetessä molemmilla lajikkeilla ja kokeilla sadon kypsyessä (LIITE 4).

Taulukko 1. Sadonkorjuutietoja kasvukaudelta 2016 Ylistaron koepaikalla. Jokainen taulukon arvo vastaa kolmen kerranteen ruutukohtaisten nostotulosten keskiarvoa.

Nostotiedot	Lajike BBCH	Typpitaso kg/ha	LAI	Tuorepaino	Kuivapaino	Varret lkm	Haarat lkm	Rönsyt lkm	Mukulat lkm	Paino Mukulat g	Sato Mukulat kg/ha
				Lehdet g	Lehdet g						
Ylistaro I	Kuras	80	3,49	764,00	84,80	7,33	2,67	43,00	30,67	877,90	21069,60
608,40 °C	65	100	5,24	873,63	96,00	8,33	3,00	35,00	24,00	835,60	20054,40
144,20 ml		120	4,78	972,53	104,90	7,67	5,33	38,00	28,00	861,70	20680,80
29.7.2016	Tanu	80	3,02	706,00	74,73	6,33	0,00	30,00	25,67	1111,40	26673,60
	69	100	3,76	597,10	60,47	5,67	0,00	27,67	24,33	1039,47	24947,20
		120	3,75	705,53	73,70	6,33	2,00	31,33	26,67	1045,77	25098,40
Ylistaro II	Kuras	80	5,02	770,73	91,87	7,67	3,00	46,33	36,00	1309,80	31435,20
744,80 °C	91	100	4,73	986,43	114,10	7,33	5,67	53,00	30,33	1466,90	35205,60
230,50 ml		120	4,91	1283,97	137,70	9,67	3,00	60,00	37,67	1712,30	41095,20
11.8.2016	Tanu	80	3,02	623,63	62,23	7,33	0,67	26,00	25,67	1318,23	31637,60
	93	100	3,13	679,13	65,33	8,67	0,00	29,00	22,33	1372,07	32929,60
		120	4,00	1000,23	94,97	7,00	0,33	37,67	36,00	1995,67	47896,00
Ylistaro III	Kuras	80	3,84	878,83	110,83	5,67	4,67	44,33	29,67	2096,63	50319,20
913,00 °C	93	100	3,76	936,90	114,77	11,67	0,00	49,67	31,00	2094,20	50260,80
326,20 ml		120	4,11	1359,70	186,23	6,33	8,00	50,00	36,00	2920,83	70100,00
30.8.2016	Tanu	80	2,07	389,90	45,63	5,67	0,67	27,00	22,33	1318,50	31644,00
	96	100	2,45	546,23	75,63	10,33	0,00	39,00	33,00	1863,80	44731,20
		120	3,00	622,23	75,97	7,67	0,33	35,67	30,33	1921,73	46121,60
Ylistaro IV	Kuras	80	0,93	304,40	61,50	8,33	2,67	35,67	29,33	1765,30	42367,20
1044,80 °C	96	100	0,68	402,37	77,23	6,67	4,00	43,33	39,00	2220,83	53300,00
341,60 ml		120	1,02	487,43	159,03	9,33	5,33	42,67	37,67	2203,43	52882,40
21.9.2016	Tanu	80	0,73	80,30	48,80	4,33	1,00	22,33	24,67	1729,43	41506,40
	99	100	0,54	98,37	55,17	5,67	0,00	19,33	25,33	1886,80	45283,20
		120	0,63	94,17	58,50	7,33	0,00	26,33	29,33	1854,90	44517,60

Taulukko 2. Sadonkorjuutietoja kasvukaudelta 2016 Köyliön koepaikalla. Jokainen taulukon arvo vastaa kolmen kerranteen ruutukohtaisten nostotulosten keskiarvoa.

Nostotiedot	Lajike BBCH	Typпитaso kg/ha	LAI	Tuorepaino Lehdet g	Kuivapaino Lehdet g	Varret lkm	Haarat lkm	Rönsyt lkm	Mukulat lkm	Paino Mukulat g	Sato Mukulat kg/ha
Köyliö I	Kuras	80	5,06	914,53	99,70	7,33	0,67	40,67	24,00	940,27	22566,40
699,00 °C	66	100	5,74	971,70	105,10	6,33	0,00	38,67	21,00	1004,63	24111,20
119,50 ml		120	5,34	1168,87	125,43	7,67	0,33	46,33	29,00	1289,67	30952,00
21.7.2016	Tanu	80	4,15	753,27	75,87	6,67	0,67	31,67	25,67	1090,17	26164,00
	70	100	4,52	768,00	79,83	6,33	0,00	35,33	29,00	1113,27	26718,40
		120	5,22	819,37	79,60	6,00	0,00	31,00	30,00	1108,60	26606,40
Köyliö II	Kuras	80	5,72	1160,10	128,63	8,67	1,67	58,33	32,33	2248,13	53955,20
932,00 °C	73	100	5,06	1124,17	133,33	7,67	1,67	48,67	33,33	1947,10	46730,40
158,50 ml		120	6,18	1060,83	142,10	7,67	0,67	48,33	26,00	1688,57	40525,60
8.8.2016	Tanu	80	4,50	575,90	61,07	5,67	0,00	32,67	24,33	1305,47	31331,20
	91	100	4,38	712,57	79,43	6,00	0,00	39,33	27,67	1616,93	38806,40
		120	4,09	740,47	67,03	8,00	0,33	42,00	30,33	1463,37	35120,80
Köyliö III	Kuras	80	4,26	1182,73	145,53	5,33	3,33	36,00	29,00	2896,57	69517,60
1089,00 °C	91	100	4,94	816,63	98,13	7,00	1,33	38,67	22,67	2240,40	53769,60
207,80 ml		120	4,59	1073,73	126,77	7,00	1,67	51,67	28,33	2828,30	67879,20
24.8.2016	Tanu	80	1,51	299,67	45,37	7,33	0,33	37,00	32,67	1903,07	45673,60
	93	100	1,64	291,33	36,17	5,67	0,33	29,33	30,00	1832,10	43970,40
		120	1,54	526,87	63,37	7,00	0,67	40,67	33,67	2492,27	59814,40
Köyliö IV	Kuras	80	2,64	659,40	96,73	7,00	1,33	36,67	26,00	3187,57	76501,60
1310,00 °C	95	100	2,44	681,70	96,70	7,67	1,00	47,00	29,33	2918,37	70040,80
228,60 ml		120	2,68	851,17	118,03	6,00	2,67	35,33	28,33	3275,40	78609,60
23.9.2016	Tanu	80	0,82	74,37	29,63	6,33	0,33	10,33	33,33	1963,80	47131,20
	98	100	0,57	35,13	65,73	6,00	0,33	0,00	31,33	1910,47	45851,20
		120	0,56	37,73	24,47	7,00	0,00	9,67	36,00	2023,63	48567,20

5.3. Typen hyödynnys ja proteiinit

Havaintojen perusteella laskettu hehtaariohtainen lehtien kuiva-aine massa oli Kuraksella Tanua suurempi molemmilla koepaikoilla jokaisessa nostossa. Ylistaron kokeella Kuraksen lehtien kuiva-ainemassa oli 300-500 kg/ha Köyliön nostoja alhaisempi, ja erot kasvavat yli 1000 kg/ha suuruisiksi II, III ja IV-nostoissa yhtä havaintoa lukuun ottamatta (Taulukko 3). Tanun lehtien kuiva-ainemassa oli jo ensimmäisessä nostossa molemmilla koepaikoilla I ja II nostoissa samassa suuruusluokassa, jonka jälkeen Köyliön kokeen ränsistyminen näkyy III ja IV nostoissa kasvien kuiva-ainemassan alenemisena (Taulukko 4). Mukuloiden hehtaaria kohti laskettu kuiva-ainemassa kasvoi molemmilla lajikkeilla kasvukauden edetessä (Taulukko 3 ja 4)

Ylistaron kokeella solunesteen kokonaistyyppi ja nitraattityppipitoisuus oli Kuraksella alhainen koko kasvukauden ajan (Taulukko 3). Tanulla havaittiin Ylistarossa korkeampia kokonaistyyppipitoisuuksia I ja IV nostoissa sekä kahden havainnon nitraattityppipitoisuudessa oli yli 3 mg/l ylittävät arvot. Köyliön kokeella solunesteen kokonaistyyppipitoisuus oli I nostossa molemmilla lajikkeilla alle 10 mg/l ja nitraattityppipitoisuus alle 1 mg/l (Taulukko 4). Nitraattipitoisuuksissa esiintyy kasvua koko kasvukauden ajan molemmilla lajikkeilla. Köyliössä Tanun kokonaistyyppipitoisuus oli kuitenkin huomattavasti Kurasta suurempi II, III ja IV- nostoissa, joissa se vaihteli 1084-1800 mg/l välillä Kuraksen arvojen vaihdellessa 8,60-448 mg/l välillä. Tanun kokonaistyyppipitoisuus kasvoi II ja III- nostojen välillä, mutta IV-nostossa kokonaistyyppipitoisuus oli jo III-nostoa keskimäärin 200 mg/l alhaisempi. Tanun solunesteen nitraattipitoisuus ei kuitenkaan IV nostossa alentunut III-nostoon verrattuna, vaan pysyi noin samassa arvossa (Taulukko 4). Tanun solunesteen kokonaistyyppipitoisuus oli molemmilla koepaikoilla Kuraksen kokonaistyyppipitoisuutta suurempi jokaisessa nostossa. Typpi- ja proteiinisato kasvoivat koepaikoilla samoissa suhteissa solunesteen kokonaistyyppipitoisuuden kanssa.

Lehtien typenotto ja hyödynnys kasvoi Ylistarossa Kuraksella I ja II-nostojen välillä, mutta aleni II-nostoon verrattuna III ja IV-nostoissa. Köyliössä Tanulla lehtien typenotto ja hyödynnys alenivat koko kasvukauden. Tanun osalta mukuloiden typenkäyttö kasvoi Ylistaron kokeella koko kasvukauden ajan. Tanun typen hyödynnys oli kuitenkin Ylistarossa alhaisempi III-nostossa, mutta kasvoi edellisiin verrattuna muissa nostoissa (Taulukko 3). Köyliössä mukuloiden typen hyödynnys kasvoi molemmilla lajikkeilla kasvukauden edetessä (Taulukko 4). Mukuloiden typen käyttö oli Köyliössä Tanulla suurimmillaan II-nostossa ja Kuraksella III-nostossa.

Tärkkelyspitoisuus oli Ylistarossa I ja II-nostoissa noin 16 % luokkaa. Pitoisuus kasvoi II ja III-nostoissa Kuraksella 19-23 % välille ja Tanulla 18-21 % välille. Tärkkelyspitoisuus oli Ylistarossa yhtä I-noston Kuraksen arvoa lukuun ottamatta suurempi 100 kg/ha typpitasolla kuin 120 kg/ha typpitasolla (Taulukko 3). Köyliössä Tanun tärkkelyspitoisuus oli Kurasta korkeampi I ja II-nostossa, jonka jälkeen Tanun tärkkelyspitoisuus aleni kasvukauden edetessä (Taulukko 4). Kuraksella tärkkelyspitoisuus kasvoi I ja II-nostojen sekä III- ja IV-nostojen välillä. II ja III-nostojen välillä Kuraksen tärkkelyspitoisuus aleni hieman 80 kg/ha ja 120 kg/ha -typpilannoitusluokissa. Köyliössä I ja II-nostoissa korkeampi typpitaso näkyi tärkkelyspitoisuuden alenemisena. III ja IV-nostoissa tärkkelyspitoisuus oli molemmilla lajikkeilla suurempi 100 kg/ha -typpitasolla kuin 120 kg/ha -typpitasolla.

Taulukko 3. Solunesteen typen määrä ja sen käyttö kasvukaudelta 2016 Ylistaron koepaikalla. Jokainen taulukon arvo vastaa kolmen kerranteen ruutukohtaisten nostotulosten keskiarvoa.

Nostotiedot	Lajike BBCH	Typпитaso kg/ha	KA massa Lehdet kg/ha	KA massa Mukula kg/ha	Kokonais N Soluneste mg/l	NO ³ - Soluneste mg/l	N-osuus KP:ssa Lehdet %	N-otto Lehdet kg/ha	N-käyttö Mukula kg/ha	N hyödynnys Lehdet %	N hyödynnys Mukula g/kg	Tärrkelys %	Typpisato kg/ha	Proteiinisato kg/ha
Ylistaro I	Kuras	80	2035,20	4182,52	2,50	0,16	2,17	48,55	0,71	65,13	0,12	16,70	0,05	0,33
608,40 °C	65	100	2304,00	3912,72	2,80	0,18	2,14	49,75	0,79	53,34	0,10	16,30	0,05	0,34
144,20 ml		120	2517,60	3994,82	1,90	0,23	2,22	62,21	0,54	55,64	0,05	15,73	0,03	0,24
29.7.2016	Tanu	80	1793,60	4968,00	3,30	0,18	2,31	38,90	0,93	52,23	0,19	15,41	0,08	0,55
	69	100	1451,20	4825,46	416,80	3,18	2,29	41,23	117,68	44,13	16,52	16,08	8,65	59,45
		120	1768,80	4952,74	291,53	1,51	2,26	40,30	82,32	35,90	9,62	16,52	5,95	40,92
Ylistaro II	Kuras	80	2204,80	6289,79	6,70	0,25	1,96	56,24	1,89	75,38	0,48	16,63	0,19	1,31
744,80 °C	91	100	2738,40	7073,05	8,23	0,20	1,97	58,92	2,32	63,29	0,56	16,86	0,28	1,93
230,50 ml		120	3304,80	8296,79	3,70	0,12	2,05	65,89	1,04	59,12	0,25	16,95	0,15	1,02
11.8.2016	Tanu	80	1493,60	6255,55	8,57	0,28	1,88	25,76	2,42	34,17	0,58	16,62	0,23	1,60
	93	100	1568,00	6541,43	5,47	0,22	2,06	36,87	1,54	39,38	0,32	16,64	0,16	1,12
		120	2279,20	9378,74	475,63	1,45	2,14	32,43	134,30	28,83	27,44	16,35	16,75	115,16
Ylistaro III	Kuras	80	2660,00	11599,13	3,53	0,28	1,69	55,49	1,00	74,02	0,45	20,01	0,16	1,08
913,00 °C	93	100	2754,40	11686,72	3,37	0,26	1,61	35,79	0,95	38,19	0,36	20,07	0,16	1,07
326,20 ml		120	4469,60	15468,44	4,17	0,35	1,57	44,64	1,18	39,62	0,47	19,01	0,26	1,77
30.8.2016	Tanu	80	1095,20	7152,95	8,27	0,34	1,33	13,57	2,33	17,95	0,69	19,43	0,25	1,69
	96	100	1815,20	10417,41	7,00	0,24	0,99	8,13	1,98	8,55	0,67	20,14	0,29	2,01
		120	1823,20	10026,94	11,03	0,19	1,24	17,55	3,12	15,45	0,81	18,46	0,45	3,07
Ylistaro IV	Kuras	80	1476,00	10546,45	60,17	0,45	1,69	36,74	16,99	49,15	6,75	21,64	2,24	15,39
1044,80 °C	96	100	1853,60	13460,43	43,53	0,44	1,75	37,67	12,29	40,31	5,35	22,12	2,12	14,60
341,60 ml		120	3816,80	13110,65	30,27	0,52	1,64	43,27	8,55	38,60	2,64	21,47	1,30	8,96
21.9.2016	Tanu	80	1171,20	9595,55	27,87	0,46	1,22	8,10	7,87	10,66	2,94	19,93	1,02	7,03
	99	100	1324,00	11011,56	525,63	3,66	1,22	18,16	148,41	19,09	58,77	21,20	21,16	145,48
		120	1404,00	10190,30	570,40	3,11	1,15	6,39	161,05	5,63	48,90	19,82	26,77	184,05

Taulukko 4. Solunesteen typen määrä ja sen käyttö kasvukaudelta 2016 Köyliön koepaikalla. Jokainen taulukon arvo vastaa kolmen kerranteen ruutukohtaisten nostotulosten keskiarvoa.

Nostotiedot	Lajike BBCH	Typpitaso kg/ha	KA massa Lehdet kg/ha	KA massa Mukula kg/ha	Kokonais N Soluneste mg/l	NO ³ - Soluneste mg/l	N-osuus KP:ssa Lehdet %	N-otto Lehdet kg/ha	N-käyttö Mukula kg/ha	N hyödynnys Lehdet %	N hyödynnys Mukula g/kg	Tärgkelys %	Typpisato kg/ha	Proteiinisato kg/ha
Köyliö I	Kuras	80	2392,80	4632,94	4,37	0,40	2,99	66,65	1,23	89,01	0,23	17,35	0,09	0,62
699,00 °C	66	100	2522,40	4812,93	6,47	0,47	3,05	71,91	1,83	76,75	0,29	16,57	0,14	0,99
119,50 ml		120	3010,40	6160,37	4,97	0,46	3,28	93,10	1,40	82,78	0,24	16,61	0,14	0,98
21.7.2016	Tanu	80	1820,80	5649,31	7,60	0,43	2,84	47,44	2,15	64,04	0,51	18,21	0,19	1,29
	70	100	1916,00	5521,19	7,73	0,92	2,84	50,94	2,18	54,79	0,38	17,41	0,19	1,28
		120	1910,40	5660,39	10,57	0,36	3,09	55,20	2,98	49,51	0,45	18,07	0,25	1,74
Köyliö II	Kuras	80	3087,20	11932,10	11,03	1,89	2,44	69,96	3,12	93,85	1,48	18,87	0,54	3,68
932,00 °C	73	100	3200,00	9922,77	8,67	1,47	2,25	66,66	2,45	71,51	0,78	18,07	0,37	2,51
158,50 ml		120	3410,40	8797,55	10,13	1,71	2,38	74,85	2,86	66,93	0,69	18,50	0,38	2,61
8.8.2016	Tanu	80	1465,60	7298,84	1084,13	10,34	2,16	30,23	306,11	40,50	93,27	19,99	31,71	218,01
	91	100	1906,40	8857,28	1603,00	13,38	2,31	42,03	452,61	45,09	127,95	19,59	56,08	385,56
		120	1608,80	8008,99	1533,00	13,18	2,37	35,62	432,85	31,80	93,30	19,48	49,05	337,22
Köyliö III	Kuras	80	3492,80	14501,33	441,87	5,74	2,47	80,43	124,76	107,81	79,06	17,60	29,01	199,43
1089,00 °C	91	100	2355,20	11626,53	8,60	0,54	2,35	50,92	2,43	54,74	0,89	18,48	0,41	2,81
207,80 ml		120	3042,40	14428,63	412,93	4,87	2,48	70,07	116,59	62,73	45,23	18,09	24,52	168,61
24.8.2016	Tanu	80	1088,80	9428,64	1716,00	24,03	1,71	17,75	484,52	23,62	183,72	17,50	71,10	488,83
	93	100	868,00	9204,40	1696,00	21,13	1,67	13,67	478,87	14,57	141,90	17,72	67,79	466,05
		120	1520,80	11743,16	1800,67	32,57	2,26	33,20	508,42	29,60	159,58	16,68	97,54	670,58
Köyliö IV	Kuras	80	2321,60	18127,75	33,57	3,61	1,91	41,73	9,48	55,78	7,01	20,50	2,36	16,24
1310,00 °C	95	100	2320,80	17003,07	22,83	4,22	1,95	42,54	6,45	45,58	3,62	21,29	1,51	10,38
228,60 ml		120	2832,80	18975,69	448,20	8,22	2,02	53,48	126,55	47,65	57,80	20,99	29,31	201,52
23.9.2016	Tanu	80	711,20	9437,98	1579,67	25,90	1,54	10,37	446,02	13,74	169,42	16,79	67,71	465,50
	98	100	1577,60	9427,82	1555,67	23,69	1,54	20,21	439,25	21,33	133,33	17,34	64,85	445,83
		120	587,20	9968,09	1588,00	29,33	1,59	8,83	448,38	7,80	120,00	17,27	70,15	482,27

Tilastoajoissa sekä lajikkeella että koepaikalla havaittiin olevan erittäin merkitseviä vaikutuksia kokonaistypen määrän muutoksissa. Lajikevalinnan merkitys oli suuri ($p > 0,0002$), mutta myös koepaikalla on erittäin merkittävää vaikutusta kokonaistypipimäärään ($p > 0,0006$). Nitraattipitoisuuden suhteen niin lajikkeen, koepaikan kuin noston merkitys on erittäin suuri ($p > 0,0001$). Typpilannoitustasolla ei havaittu tilastollista merkitsevyyttä (LIITE 5).

Niin lajikkeella, koepaikalla kuin nostoajankohdalla oli erittäin merkitsevä vaikutus sekä mukulan että lehtien typen hyödynnykseen ($p > 0,0001$). Lisäksi lehtien typen hyödynnyksessä myös typpitasolla oli merkitsevä vaikutus ($p > 0,0031$). Mukulan typenhyödynnyksessä myös lajikkeen ja koepaikan ($p > 0,001$), lajikkeen ja nostoajankohdan ($p > 0,0019$) sekä koepaikan ja nostoajankohdan ($p > 0,0001$) yhteisvaikutuksilla oli erittäin suurta merkitsevyyttä. Lehtien typenhyödynnyksessä ainoastaan lajikkeen ja noston ($P > 0,0004$) yhteisvaikutuksella oli erittäin suurta merkitsevyyttä. Mukuloilla lisäksi lajikkeen, koepaikan ja nostajankohdan yhteisvaikutus sai hyviä arvoja, mutta niitä ei voitu lukea merkitseviksi. Lehtien kohdalla vastaavia hyviä arvoja saivat lajikkeen ja noston sekä koepaikan ja noston yhteisvaikutus, mutta näitäkään tuloksia ei voitu lukea merkitseviksi (LIITE 6).

Solunesteen typpipitoisuudella ja tärkkelyksen määrällä ei ollut keskinäistä korrelaatiota kummallakaan lajikkeella (Taulukko 6 a ja b). Nitraattipitoisuudella ja kokonaistypipitoisuudella oli merkitsevää korrelaatiota niin Tanulla ($p > 0,001$) kuin Kuraksellakin ($p > 0,0001$) Nitraattipitoisuus kasvoi kokonaistypen kasvaessa (Taulukko 6 c ja d). Solunesteen määrällä korrelaatio solunesteen typpipitoisuudessa oli negatiivinen, mutta ei merkitsevä (Taulukko 6 e ja f). Tärkkelyksen määrä korreloitui lajikkeesta riippumatta sademäärään positiivisesti; Tanulla merkitsevästi ($p > 0,003$) (Taulukko 7) ja Kuraksella erittäin merkitsevästi ($p > 0,0001$) (Taulukko 8). Sademäärä korreloitui merkitsevästi myös mukulasatoon sekä tärkkelyspitoisuuteen molemmilla lajikkeilla (Taulukko 7 ja 8). Tuorepainoon ja lehtien typenhyödynnykseen sademäärä kuitenkin korreloitui negatiivisesti erittäin merkitsevällä tasolla. Kokonaistypipitoisuuteen

erittäin merkitsevästi korreloituivat Tanulla lämpösumma, mukulasato ja mukuloiden typenhyödynnys ($p > 0,0001$). Kuraksella puolestaan typen hyödynnys oli ainoa merkitsevä tekijä ($p > 0,0001$).

Taulukko 6. Korrelaatiot lajikkeittain. Taulukoissa 6 a) ja b) solunesteen typpipitoisuuden ja tärkkelyksen korrelaatio, taulukoissa c) ja d) kokonaistypen ja nitraattitypen keskinäinen korrelointi ja taulukoissa e) ja f) solunesteen prosentuaalisen osuuden ja typpipitoisuuden korrelaatio.

a)

Pearson Correlation Coefficients, N = 72		
Prob > r under H0: Rho=0		
Tanu	Typpipitoisuus_solunesteessa	Tärkkelys
Typpipitoisuus_solunesteessa	1.00000	0.06762 0.5725
Tärkkelys	0.06762 0.5725	1.00000

b)

Pearson Correlation Coefficients, N = 72		
Prob > r under H0: Rho=0		
Kuras	Typpipitoisuus_solunesteessa	Tärkkelys
Typpipitoisuus_solunesteessa	1.00000	0.11249 0.3468
Tärkkelys	0.11249 0.3468	1.00000

c)

Pearson Correlation Coefficients, N = 72		
Prob > r under H0: Rho=0		
Tanu	NO3_N	Kok_N_mgl
NO3_N	1.00000	0.38030 0.0010
Kok_N_mgl	0.38030 0.0010	1.00000

d)

Pearson Correlation Coefficients, N = 72		
Prob > r under H0: Rho=0		
Kuras	NO3_N	Kok_N_mgl
NO3_N	1.00000	0.66579 <.0001
Kok_N_mgl	0.66579 <.0001	1.00000

e)

Pearson Correlation Coefficients, N = 72		
Prob > r under H0: Rho=0		
Tanu	Solunesteen_maara_pros	Typpipitoisuus_solunesteessa
Solunesteen_maara_pros	1.00000	-0.06762 0.5725
Typpipitoisuus_solunesteessa	-0.06762 0.5725	1.00000

f)

Pearson Correlation Coefficients, N = 72		
Prob > r under H0: Rho=0		
Kuras	Solunesteen_maara_pros	Typpipitoisuus_solunesteessa
Solunesteen_maara_pros	1.00000	-0.11249 0.3468
Typpipitoisuus_solunesteessa	-0.11249 0.3468	1.00000

Taulukko 7. Eri tekijöiden keskinäiset korrelaatiot Tanulla

Pearson Correlation Coefficients, N = 72								
Prob > r under H0: Rho=0								
Tanu	Lampösumma	Sademäärä	Mukulasato	Tuorepaino	Kok_N_mgl	Tärkkelys	Typen_hyödynnys_lehdet	Typen_hyödynnys_mukula
Lampösumma	1.00000 0.0024	0.35250 0.0024	0.67122 <.0001	-0.77968 <.0001	0.63469 <.0001	0.24828 0.0355	-0.65568 <.0001	0.68452 <.0001
Sademäärä	0.35250 0.0024	1.00000	0.40481 0.0004	-0.46070 <.0001	-0.23754 0.0445	0.41405 0.0003	-0.61947 <.0001	-0.18150 0.1270
Mukulasato	0.67122 <.0001	0.40481 0.0004	1.00000	-0.31866 0.0064	0.43568 0.0001	0.07715 0.5195	-0.42220 0.0002	0.52685 <.0001
Tuorepaino	-0.77968 <.0001	-0.46070 <.0001	-0.31866 0.0064	1.00000	-0.32493 0.0054	-0.28011 0.0172	0.76479 <.0001	-0.38877 0.0007
Kok_N_mgl	0.63469 <.0001	-0.23754 0.0445	0.43568 0.0001	-0.32493 0.0054	1.00000	0.02326 0.8462	-0.23268 0.0492	0.95944 <.0001
Tärkkelys	0.24828 0.0355	0.41405 0.0003	0.07715 0.5195	-0.28011 0.0172	0.02326 0.8462	1.00000	-0.28844 0.0140	0.04940 0.6803
Typen_hyödynnys_lehdet	-0.65568 <.0001	-0.61947 <.0001	-0.42220 0.0002	0.76479 <.0001	-0.23268 0.0492	-0.28844 0.0140	1.00000	-0.27935 0.0175
Typen_hyödynnys_mukula	0.68452 <.0001	-0.18150 0.1270	0.52685 <.0001	-0.38877 0.0007	0.95944 <.0001	0.04940 0.6803	-0.27935 0.0175	1.00000

Taulukko 8 Eri tekijöiden keskinäiset korrelaatiot Kuraksella

Pearson Correlation Coefficients, N = 72								
Prob > r under H0: Rho=0								
Kuras	Lampösumma	Sademäärä	Mukulasato	Tuorepaino	Kok_N_mgl	Tärkkelys	Typen_hyödynnys _lehdet	Typen_hyödynnys _mukula
Lampösumma	1.00000 0.0024	0.35250 0.0024	0.85133 <.0001	-0.29340 0.0124	0.27034 0.0216	0.74989 <.0001	-0.14727 0.2170	0.26348 0.0253
Sademäärä	0.35250 0.0024	1.00000	0.35013 0.0026	-0.38200 0.0009	-0.02130 0.8590	0.62972 <.0001	-0.49257 <.0001	-0.02637 0.8260
Mukulasato	0.85133 <.0001	0.35013 0.0026	1.00000	0.12120 0.3105	0.26452 0.0247	0.57095 <.0001	0.09852 0.4103	0.27285 0.0204
Tuorepaino	-0.29340 0.0124	-0.38200 0.0009	0.12120 0.3105	1.00000	0.00642 0.9573	-0.50106 <.0001	0.65999 <.0001	0.02947 0.8059
Kok_N_mgl	0.27034 0.0216	-0.02130 0.8590	0.26452 0.0247	0.00642 0.9573	1.00000	0.11249 0.3468	0.10581 0.3764	0.97684 <.0001
Tärkkelys	0.74989 <.0001	0.62972 <.0001	0.57095 <.0001	-0.50106 <.0001	0.11249 0.3468	1.00000	-0.33510 0.0040	0.10374 0.3858
Typen_hyödynnys _lehdet	-0.14727 0.2170	-0.49257 <.0001	0.09852 0.4103	0.65999 <.0001	0.10581 0.3764	-0.33510 0.0040	1.00000	0.16361 0.1697
Typen_hyödynnys _mukula	0.26348 0.0253	-0.02637 0.8260	0.27285 0.0204	0.02947 0.8059	0.97684 <.0001	0.10374 0.3858	0.16361 0.1697	1.00000

6. TULOSTEN TARKASTELU

Tämän tutkimuksen tuloksia tarkasteltaessa on muistettava, että näytekoko oli pieni. Jokaisesta koeruudusta nostettiin ainoastaan kaksi kasvia, joiden sisäinen vaihtelu luo eroja myös tuloksissa. Taulukoissa 1 ja 2 esitellyt tulokset ovat jokaisen koenoston saman lannoitustason ruutujen keskiarvotuloksia, eli yhden luvun tuottamiseen on käytetty kuuden kasvin tiedot. Luvut kuvaavat todellisuutta, mutta pieni näytekoko johtaa aina radikaalimpaan vaihteluun. Suurempi nostokohtainen kasvimäärä olisi saattanut tasoittaa satunnaisia pienten kasvien, ruudun reunavaikutuksen tai vähäisten mukuloiden aikaansaamaa eroa.

6.1. Sääolosuhteet kasvukaudella

Köyliön kokeeseen verrattuna Ylistaron sademäärät olivat huomattavan runsaita. Koska perunalla on tarve huokoiselle maalle ja typelle tyypillistä on sitoutuminen maaperän mineraaleihin, saattoi runsas sade huuhtoa Ylistarossa osan käyttökelpoisesta tyyppistä kasvin juurten ulottumattomiin. P.F.Pratt (1984) toteaa viljelyalan kastelua käsittelevässä tutkimuksessaan, että monilla alueilla ravinteiden huuhtoutumisella ja sademäärillä on yhteyttä, etenkin mikäli typpilannoituksen taso on ollut korkea. Hänen mukaansa etenkin nitraattityppi on altis huuhtoutumiselle. Myös Ierna ym. (2011) päätyivät toteamaan kasteluveden määrällä olevan merkittävää vaikutusta perunan kuiva-aineen kehityksessä. Ierna ym. (2011) toteavat, että vaikka ravinteiden ja veden otto ovat luonnossa erillisiä prosesseja, vaikuttaa veden määrä kuitenkin ravinteiden ottoon ja niiden käyttötehokkuuteen. Burton (1989) toteaa, että riittävä vesimäärä viiden kuukauden kasvukaudella on noin 500 mm, mutta sateen ollessa ainut vedenlähde on optimaalinen taso noin 250 mm.

Kokeen kasvukausi oli nostosta riippuen kahdesta neljään kuukautta, mistä johtuen etenkin Ylistarossa kasvien vedensaanti oli jopa liian runsasta. Näin ollen voidaan

olettaa, että Ylistarossa myöhäisempi istutus ja sateiden tulo runsaina kuuroina lyhyellä ajanjaksolla on aiheuttanut ravinteiden liukenemista sekä mahdollisesti tulvimisstressiä. Osittain tämän vuoksi kasvusto ja satotaso ovat jääneet alhaisemmiksi verrattuna Köyliöön, jossa sateiden jakautuminen kasvukaudella oli Ylistaroa tasaisempaa. Opsina ym. (2014) havaitsivat kokeessaan kasvukausien sääolosuhteiden vaikuttavan suuresti typen saatavuuteen ja lajikkeiden typenhyödynnykseen, sillä alkukasvukauden sateilla on kasvua tehostavia vaikutuksia.

Ylistaron kokeella istutuspäivä on 20 vuorokautta Köyliön koetta myöhäisempi. Ensimmäisten nostojen välillä esiintyvillä lämpösummaeroilla ei liene merkitystä I nostossa, sillä nostot ajoitettiin mitattuun LAI-maksimiin. Keskivertoa lämpimämpi kesä ja aikaisempi istutusajankohta antavat kuitenkin Köyliön kokeen lajikkeille edun II, III ja IV-kasvunostoissa. Opsina ym. (2014) havaitsivat tutkimuksessaan aikaisten lajikkeiden hyötyvän muita tuleentumisluokkia enemmän korkeista lämpötiloista kasvuston kehitymisasteilla. Myöhäisten lajikkeiden kehitykseen korkeat lämpötilat vaikuttavat puolestaan negatiivisesti. Lämpösumman kertyminen oli myös Satakunnassa Etelä-Pohjanmaata nopeampaa eteläisemmän sijainnin ansiosta. Tästä johtuen Köyliön sadon kypsyminen olisi ollut Ylistaroa nopeampaa, vaikka istutusajankohta olisi-kin kokeilla ollut sama. Opsina ym. (2014) toteavat kuitenkin, että sääolosuhteiden vaikutukset vaihtelevat tuleentumisajankohdasta riippuen, sillä esimerkiksi aikaiset lajikkeet eivät hyödy alkukasvukauden optimaalisista olosuhteista enää myöhemmissä kasvunvaiheissa.

Myös koepaikkojen erilaisilla maaperäolosuhteilla lienee ollut vaikutusta kasvustoissa esiintyviin eroihin. Ylistaron koealan runsasmultainen hieno hietamaa soveltuu paremmin ohran, kauran ja rukiin viljelyyn. Köyliön multava hietamoreeni puolestaan on perunan juuriston muodostumisen kannalta parempi, sillä kuten Burton (1989) toteaa, on maaperän rakenteella ja maalajilla merkittävää vaikutusta juuriston kehittymiseen. Hyvän juuristonmuodostuksen takaamiseksi tulisi maaperän Burtonin

(1989) mukaan olla irtonaista ja ilmavaa, sekä hyvin vettä läpäisevää. Liian tiivis maaperä rajoittaa juurten kasvua, ja vähentää ravinteiden- ja vedenoton tehokkuutta (Alva 2004). Runsaiden sateiden seurauksena Ylistaron maaperän kuorettui paikoin pahasti, mikä esti niin ilman vaihtumista kuin auringon lämpöenergian pääsyä maahan. Nämä tekijät myös saattaneet osaltaan vaikuttaa perunan ravinteidenottokykyyn ja sitä kautta kasvuston ja sadonmuodostukseen Ylistaron kokeella.

6.2. Kasvuston rakenne

Aikaisena lajikkeena Tanun kasvusykli on nopea, mistä johtuen sen lehvästön laajuus ei yllä samalle tasolle myöhäisten lajikkeiden kanssa. Aikaiset lajikkeet kompensoivat nopeaa sadontuottoaan karsimalla lehvästön laajuudesta (Vos 2009). Toisaalta sama strategia saattaa tarkoittaa, että kasvin typenkäytön tehokkuus laskee LAI-maksimin saavuttamisen jälkeen (Opsina 2014). Myöhäisen Kuras-lajikkeen lehvästö jatkoi kasvuaan III ja IV-nostoihin saakka molemmilla paikkakunnilla. Varsien haaroittuminen ja siitä seuraava kasvuston pensominen on myös lajikeominaisellisesti tyypillisempää Kuraksella kuin Tanulla. Osaki ym. (1995) toteavat typpilannoituksen lisäävän haaroittuneisuutta, mutta tässä tutkimuksessa vastaavia tuloksia ei havaittu kummallakaan lajikkeella. Opsina ym. (2014) havaitsivat typen lisäämisen lisäävän lehvästön kasvua, ja samaa ilmiötä havaitaan myös tässä kokeessa.

Runsaampi pensominen ja maanpäällisten vihreiden osien kehittäminen hidastaa myöhäisten lajikkeiden ravinteiden siirtoa mukuloihin (Opsina ym. 2014), mistä johtuen mukuloiden koko kasvaa koepaikoilla myöhempiin nostoihin tullessa. Kylmemmällä kasvukaudella tai myöhemmällä istutuksella Kuras olisi tuskin yltänyt samaan satotasoon kuin tällä tutkimuskaudella. Tämän perusteella voidaan todeta, että aikaisten lajikkeiden sadontuotanto on olosuhteista riippumatta varmempaa. Kasvukauden onnistuessa myöhäiset lajikkeet pystyvät kuitenkin hyödyntämään

maaperän ravinteita pidempään, ja takaamaan sitä kautta suuremman sadontuotannon ja typenkäyttötehokkuuden (Opsina ym. 2014).

LAI-indeksi muutoksissa ei kahden ensimmäisen noston välillä ole suurta vaihtelua. Ylistaron kokeella Kuras pääsee vasta toisessa koenostossa LAI-maksimiin, minkä voidaan olettaa johtuvan lajikkeen myöhäisyydestä. Myöhäisempi istutusajankohta saattaa osittain selittää Ylistaron kasvustojen pienuutta ja LAI:n alhaisuutta ensimmäisissä nostoissa, vaikka kyseiset vaikutukset pyrittiin ottamaan huomioon nostoajankohtia valikoitaessa. LAI kehitys Ylistaron kokeen I ja II nostojen välillä osoittaa kasvuston kehityksen olleen Köyliön koetta jäljessä I noston kohdalla. Erot kuitenkin tasautuvat kasvukauden edetessä. Ylistaron sateisuus on saattanut vauhdittaa kasvuston ikääntymistä, sillä kaksinkertainen sademäärä Köyliöön verrattuna on saattanut vähäravinteisemmassa maassa aiheuttaa kasvustoon stressitiloja. Tämä voi osittain nähdä heijastuvan pienempänä kasvustona sekä mukulakokona ja -painona.

Sattelmacherin ja muiden (1990) mukaan jotkut perunalajikkeet ovat erittäin tehottomia ravinteidenoton suhteen, koska ne ovat adaptoituneet tehokkaan tuotannon olosuhteisiin. Alva (2004) puolestaan toteaa tutkimuksessaan, että typpilannoituksen tavalla, sen määrällä ja ajankohdalla on merkitystä sadon määrään ja laatuun. Lajikekohtaisilla eroilla voi siis olla vaikutusta typen ja muiden ravinteiden ottotehokkuuteen. Rop ym. (2009) toteavat tutkimuksessaan lannoitetypen lisäämisen nostavan saatavaa satoa, mutta saattavan aiheuttaa kuiva-ainemäärän alenemista. Aikaisin nostetuilla perunalla suuret typpimäärät vaikuttavat tärkkelyspitoisuuden ja raakaproteiinin määrien alenemiseen (Rop ym. 2009).

Typpilannoituksen lisäämisen positiiviset vaikutukset sadonlisään ja kasvuston kehitykseen ovat selkeämmin havaittavissa Ylistaron kokeella. Köyliön kokeella typpilannoituksen lisääminen ei puolestaan vaikuttanut mahdolliseen satoon yhtä huomattavasti. Vähäravinteinen maa ei kokeen olosuhteissa tarjonnut perunoille ylimääräistä

kasvua, joten lisätyppi nostaa korkeammissa lannoitustasoissa lehtimassaa sekä kasvin kykyä yhteyttää ja varastoida ravinteita sato-osiin. Tämä saattaa johtua NO_3^- -typen kulkeutumisesta veden mukana syvemmälle maaperään, jolloin se on heikosti saatavilla (Alva, 2004). Vos ja Biemond (1992) kertovat tutkimuksessaan alhaisten typpitasojen aiheuttavan typen siirtymistä varsistosta mukulaan aikaisemmin, jolloin kasvusto alkaa ränsistyä, eikä typpeä oteta maaperästä enää yhtä tehokkaasti. Opsinan ym. (2014) arvion mukaan alhainen typpimäärä saattaa aiheuttaa myös aikaisempaa kasvuston ränsistymistä varsien alaosassa. He huomasivat alhaisemmilla typpilannoitustasolla LAI-maksimin kohdalla lehvästön kokonaispinta-alan olevan korkeaa lannoitusta suurempaa. Toisaalta Opsina ym. (2014) havaitsivat ylimääräisen typen myös myöhästyttävän kasvuston tuleentumista.

Suurempi ja oikeaan aikaan levitetty lisätyppi nostaa satoa ja mukuloiden kokoa sekä mukulapainoa. Mukulapainon muutokset eivät ole kaikki samalla tavalla positiivisia, kuin Ylistaron kokeella, sillä Tanun kohdalla merkittäviä eroja mukulapainon muutoksissa ei ole. Tämä saattaa johtua lajikkeen aikaisuudesta, sillä Opsina ym. (2014) toteavat tutkimuksessaan aikaisten lajikkeiden olevan kyvyttömiä hyödyntämään kaikkea typen lisäyksen tarjoamaa potentiaalia sadontuotannossaan. Kuraksella mukulapainojen vaihtelu on suurempaa, mutta se ei seuraa typpilannoituksen lisäämistä, vaan on muutamissa tapauksissa jopa käänteinen. Optimaalisemmat kasvuolosuhteet sekä pidempi kasvukausi ovat saattaneet edesauttaa myös maaperäravinteiden hyödyntämistä, mistä johtuen osa kasveista on mahdollisesti saanut esimerkiksi typpeä jopa yli tarvittavan määrän. Liiallisen typensaannin on todettu heikentävän sadon laatua ja tärkkelysmäärää (Lin ym. 2004).

Toisaalta liian vähäinen tai häiriintynyt typensaanti johtaa sadon määrän vähenemiseen, samoin kuin liian aikaisin korjattu sato (Bard ym. 2012). Tämä saattaa myöhäisen Kuraksen kohdalla olla syy pienempiin mukulapainoihin typpilannoituksen lisääntymisessä. Kuraksen kohdalla lajikkeen myöhäisyyden ja sadonkorjuun ajankohtien

yhteisvaikutuksella lienee merkitystä odotuksista poikkeaviin mukulapainoihin. Mukulamäärät kasvoivat molemmilla lajikkeilla typpilannoitusta lisättäessä typpilannoitusta 80:sta kilosta 100:aan kiloon. Fadika ym. (2016) huomasivat kastelun nostavan keskimääräistä mukulapainoa sekä satoa, kun typpilannoituksen lisääminen puolestaan nosti mukuloiden määrää, mutta ei vaikuttanut keskimääräiseen kokonaissatoon. He huomasivat myös typpilannoituksen lisäämisen vähentävän veden hyödynnystehokkuutta. Rop ym. (2009) kuitenkin havaitsivat typpilannoituksen lisäävän sadon mukulamäärää.

6.3. Typen hyödynnys ja proteiinit

Proteiinianalyseissä eri aminohappojen pitoisuuksia ei arvioitu, vaan kaikki tulokset on laskettu kokonaisraakaproteiinipitoisuuksilla. Koska kyseessä on kokonaistyyppipitoisuudesta kaavalla laskettu arvo, havaittiin solunesteen typpipitoisuuden käyttäytymän täysin samalla tavalla proteiinisadon tulosten kanssa. Tästä johtuen koettiin järkeväksi arvioida typpipitoisuuteen vaikuttavia tekijöitä. Näiden tekijöiden voidaan kuitenkin tilastoanalyysien perusteella olettaa vaikuttavan samalla tavalla myös raakaproteiinisatoon.

Perinteisenä typpipitoisuuden määrittämenetelmänä tunnettu Kjeldahl-metodia harkittiin tämän kokeen kohdalla, mutta laboratorion suosituksesta päädyttiin käyttämään Dumas-menetelmää. Simonnen ym. (1998) tutkimuksen mukaan Dumas-menetelmä on vihreiden kasvinosien kokonaistypen mittaamisen kannalta parempi, sillä menetelmän avulla noin 25% suurempi osuus typpipitoisista yhdisteistä voidaan havaita Kjeldahl-menetelmään verrattuna. Proteiinipitoisuus määritettiin kertomalla kokonaistyyppipitoisuus kertoimella 6,25 (Van Gelder 1981). Kerroin perustuu typpiyhdisteiden keskiarvoiseen typpimäärään (Lisińska ja Leszczyński 1989). Desborough ja Weiser (1974) ovat kuitenkin osoittaneet, että kerroin 7,5 olisi perunan proteiinipitoisuuden laskemisen kannalta parempi, mutta tässä tutkimuksessa on kuitenkin edelleen käytetty kerrointa 6,25. Kyseinen kerroin on edelleen yleisesti käytössä niin

teollisuudessa kuin tutkimuksissakin. Lisińska ja Leszczyński (1989) toteavat, että myöhäisten lajikkeiden proteiinipitoisuus kasvaa sadonkorjuuseen saakka, kun aikaisten lajikkeiden pitoisuus saavuttaa maksiminsa ennen sadonkorjuuta, jolloin proteiinipitoisuus laskee.

Tutkimuksessa ei ole huomioitu NPN-typen osuutta kokonaistypestä, mutta Eppendorfer ym. (1979) arvioivat tutkimuksessaan määrän olevan noin 40%. Mulder ja Bakema (1956) toteavat yleisellä ravinnetasapainolla sekä typpiyhdisteiden saatavuudella olevan vaikutusta NPN-typen osuuteen. NPN-osuuteen vaikuttaa suuresti muidenkin ravinteiden kuin typen määrä (Eppendorfer ym. 1979) ja esimerkiksi alhaisilla kalium- ja fosforipitoisuuksilla on havaittu olevan korrelaatiota korkeisiin NPN-pitoisuuksiin (Mulder ja Bakema 1956). Kokeessaan Mulder ja Bakema (1956) havaitsivat myös, että vähätyppisissä olosuhteissa kasvaneilla perunoilla sekä proteiinit että liukoisien proteiinien ulkopuoliset typpiyhdisteet olivat vähemmän vakiintuneita. Heidän mukaansa myös typpikäsittelyllä on suuri vaikutus NPN-typen osuuteen, ja proteiinipitoisuuden muodostuminen vaikuttaa olevan erillinen prosessi kuin NPN-typen osuuden muodostuminen. Tulevissa tutkimuksissa ei-proteiinityypen osuuden arviointi on tärkeää, sillä tämän tutkimuksen ja sen tulosten perusteella ei pystytä arvioimaan tarkkaa NPN-osuutta tai siihen vaikuttavia tekijöitä. Olisi kuitenkin solunesteen jatkojalostuksen kannalta ensiarvoisen tärkeää tietää myös NPN-typpeen vaikuttavista tekijöistä.

Typpilannoitustasolla ei tulosten perusteella havaittu olevan tilastollista merkittävyyttä mukulan kokonaistyyppipitoisuuteen. Useissa tutkimuksissa on kuitenkin havaittu päinvastaisia tuloksia, sillä esimerkiksi Haase ym. (2005) havaitsivat typpilannoituksen lähteellä olevan suuresti merkitystä mukulan kokonaistyyppipitoisuuteen. He havaitsivat myös lajikkeella olevan suurta vaikutusta pitoisuuksiin. Kasvukauden kosteus ja istutusajankohdan myöhäisyys näkyvät mukuloiden kokonaistyyppi- ja nitraattipitoisuuksissa Ylistaron kokeella. Köyliön kokonaistyyppi- ja nitraattipitoisuusar-

voihin verrattaessa olivat Ylistaron arvot huomattavan pieniä, eivätkä ne vastaa arvioituja normaaliarvoja. Köyliön kokeella pitoisuudet olivat lähempänä arvioituja normaaliarvoja II, III ja IV nostoissa. Perunan solunesteitä vertailtaessa voitiin kuitenkin havaita selkeitä värieroja niin paikkakuntien, tyyppitasojen kuin lajikkeidenkin kohdalla (Kuva 5). Tanun solunesteet olivat poikkeuksetta Kurasta tummempia ja Köyliön solunesteet Ylistaroa tummempia. Värierot myös tasaantuivat typpilannoituksen lisääntyessä. Havainnolla saattaa olla linkki proteiinipitoisuuden kasvuun, sillä solunesteen väri tummeni myöhemmälle kasvukautta mennessä. Värimuutoksista ei kuitenkaan tehty vertailua typpi- ja nitraattipitoisuuksien suhteen, mutta tulevaisuudessa se voisi olla kiinnostava aspekti tutkittavaksi.



Kuva 5 Solunesteissä esiintyvät värierot olivat selkeitä paikkakuntia, lajikkeita ja typpilannoitustasoja verrattaessa. Kuvassa vasemmalla Köyliön kolmannen noston kolmannen kerranteen ja oikealla Ylistaron neljännen noston ensimmäisen kerranteen solunesteet. Typpitasot nousevat vasemmalta oikealle 80, 100, 120 kg/ha, ja kaksi vierekkäistä pulloa ovat aina samaa lannoitustasoa.

Lajikkeella, koepaikalla sekä nostoajankohdalla oli merkitsevyyttä tilastollisissa vertailuissa, mutta muita vaikuttaneita tekijöitä on vaikea arvioida vain yksivuotisen tutkimusdatan pohjalta. Tulosten perusteella suuri vaikuttava tekijä on lajike, sillä normaalitilannetta paremmin kuvailevalla Köyliön kokeella Tanun solunesteen kokonaistyyppipitoisuudet ovat huomattavasti Kurasta korkeampia. Myös Haase ym. (2005) toteavat lajikkeen merkittäväksi tekijäksi mukulan kuiva-aineen, tuorepainon ja sadon

näkökulmasta lannoitemäärän ja vuoden ohella. He toteavat myös teollisuuskäyttöön tarkoitetun perunan hyötyvän enemmän lajikevalinnasta kuin lannoitemuutoksista. Lannoituksen lisäksi maaperän luontaiset typpivarannot ovat kasvien käytössä, eli hyödynnyksen noustessa yli sadan voidaan uskoa kasvien käyttäneen myös maaperän typpeä. Kyseistä hyödynnystä oli tarkoitus mitata maaperäanalyysien avulla, jotta kasvukauden alun ja lopun tilannetta olisi voitu vertailla. Tämä ei kuitenkaan toteutunut osittain inhimillisten virheiden sekä resurssien puutteen vuoksi. Tulevaisuudessa tämän aspektin vertailu olisi varmasti hyvin kiinnostavaa, sillä sen avulla pystyttäisiin perehtymään myös paremmin viljelyn vaikutuksiin kasvuympäristössä sekä kestävään viljelykiertoon perunanviljelyssä. Haase ym. (2005) toteavat tutkimuksessaan erilaisten lannoitelähteiden merkityksen sadontuotantoon olevan vahvasti sidoksissa vuoden muuhun kulkuun, ja vaikutukset olivat vahvasti havaittavissa mineralisoituneen typen pitoisuuksissa.

Nitraattipitoisuudet kasvoivat molemmilla koepaikoilla ja lajikkeilla läpi kasvukauden, eivätkä niiden pitoisuudet pienentyneet olosuhteiden muuttuessa. Nitraattipitoisuuden vaikutti myös noston ajankohta alkukauden I ja II nostoissa, eli mitä aikaisemmin sato korjataan, sen vähemmän nitraatteja mukuloihin ehtii kertyä. Aikaisilla lajikkeilla on säännönmukaisesti lähes aina korkeampi nitraattityypipitoisuus kuin lajikkeilla, joiden kasvukausi on pidempi (Lin ym. 2004). Tämä pitää paikkaansa myös tässä tutkimuksessa, sillä jokaisessa nostossa lähes kaikilla lannoitustasoilla Tanun nitraattipitoisuudet ovat Kurasta korkeampia. Typen määrän kasvu korreloitui positiivisesti nitraattipitoisuuden kasvuun, eli myöhemmälle kasvukautta mentäessä nitraattien määrä kasvoi solunesteen kokonaistyyppimäärän määrän kasvaessa.

Typen hyödynnyksen suhteen vaihtelussa oli huomattavia eroavaisuuksia. Sitä selittävät varsin hyvin kasvun tahti ja erot koepaikkojen välillä niin sijainnissa kuin sääolosuhteissa. Simková ym. (2013) toteavat tutkimuksessaan vuosittaisella vaihtelulla olevan suurta merkitystä mukuloiden fosforipitoisuuksiin. Tämän voitaneen olettaa

tämän pätevän myös typen suhteen. Köyliön kasvutahti on ollut Ylistaroa nopeampaa, mikä näkyi myös typen hyödynnyksessä. Vasta IV-nostossa Ylistaron arvot alkoivat olla Köyliön I ja II-nostoon verrattavissa. Jo silmämääräisesti havainnoituna kasvustoissa oli selkeitä eroja. Eri typpimuodot vaikuttavatkin kasvuun, ja Osaki ym. (1995) toteavatkin tutkimuksessaan esimerkiksi NH_4 -typen vaikuttavan pääasiassa vegetatiiviseen kasvuun, kun NO_3^- -typpi vaikuttaa generatiiviseen kasvuun hiilihydraattienmuodostumisvaiheessa. Tämän perusteella typen lähteellä on merkitystä kasvin kehittymiseen kasvuasteesta riippuen erilaisten kemiallisten komponenttien muodostumisvaiheissa (Osaki ym. 1995). Xu ym. (2012) toteavat myös kasvin geneettisellä perimällä olevan vaikutusta typen hyödynnykseen, jopa saman kasvilajin sisällä. Tämä selittää lajikkeiden välisiä eroja.

Koska kokeen lannoitus oli kertakohtainen, on tuloksissa havaittavissa aikaisten lajikkeiden parempi menestyminen optimaalisissa kasvuolosuhteissa. Tällöin erilaisia typpimuotoja on runsaammin kasvin juurten saatavilla kuin loppukasvukaudesta. Tämä saattaa myös vaikuttaa myöhäisten lajikkeiden pitkittyneeseen tuleentumiseen generatiivisten osien muodostumisen hidastuessa sopivan typpimateriaalin puuttuessa. Mukuloilla typen hyödynnystehokkuus puolestaan kasvoi kasvukauden edetessä. Tämä tulos on looginen, sillä kasvin elinkaareissa ravinteet nostetaan ensin vihreisiin osiin yhteyttämiskoneiston ylläpidon varmistamiseksi, mutta kasvuston ränsistytessä niin ravinteet, proteiinit kuin muu hyödyllinen siirretään mukulaan varastoon talvea varten (Burton 1989, Xu ym. 2012).

Typpilannoituksella oli merkitystä lehtien alkukauden typen hyödynnykseen, mutta loppukasvukaudesta lisätty typen määrä ei enää ollut merkitsevää. Haase ym. (2005) toteavat kuitenkin, että typen ja kaliumin pitoisuuksiin lehtien kuiva-aineessa vaikuttaa vahvasti vuosi, joten toisenlaisella kasvukaudella tilanne olisi voinut olla erilainen. Tilanteeseen olisi mahdollisesti vaikuttanut, mikäli annettu typpilannoitus olisi jaettu kasvukaudella osissa, sen sijaan että kaikki lisätyppi oli annettu kasville jo istutuksen

yhteydessä. Tällaisessa menettelyssä on toki riskinä, että lajikkeiden kypsyminen viivästyy niiden keskittyessä ainoastaan lehtien ja muiden vihreiden osien kasvattamiseen. Lajikkeella on kuitenkin vaikutusta vedenkäyttöön, kuten Fadika ym. (2016) toteavat tutkimuksessaan. Sademäärällä oli erittäin merkittäviä negatiivisia korrelaatioita lehtien typenhyödynnykseen, eli sademäärän kasvaessa myös lehtien typen hyödynnystehokkuus väheni. Tämä saattaa johtua perunan matalasta juuristosta (Burton 1989), jolloin ravinteet ovat huuhtoutuneet juurten ulottumattomiin runsaiden sateiden seurauksena. Myös kasvin luonnollinen elinkaari vaikuttanee lehtien typenhyödynnykseen.

Solunesteen typpipitoisuudella ja laskennallisella proteiinimäärällä sekä tärkkelyksen määrällä ei havaittu keskinäistä korrelaatiota kummankaan lajikkeen kohdalla. Tämä tulos on erittäin positiivinen tärkkelysperunan solunesteen jatkojalostuksen kannalta, sillä teollisuuskäytössä perunan tärkkelyspitoisuus on ensisijainen tavoite. Taulukoissa havaitaan kuitenkin, että lähes poikkeuksetta 120 kg/ha typpilannoitustasoilla tärkkelyksen määrä on alhaisempi kuin 100 kg/ha lannoituksella. Liiallinen lannoituksen nosto saattaa siis vaikuttaa tärkkelyspitoisuuden alenemiseen, jolloin tavoiteltaessa sekä korkeaa proteiini- että tärkkelyspitoisuutta lannoitustason kontrollointi lienee paras ratkaisu. Eppendorfer ja Eggum (1992) havaitsivat tutkimuksessaan korkeiden typpi, kalium ja fosfori lannoituksen vähentävän tärkkelyspitoisuutta, eli ylisuurilla lannoituspitoisuuksilla olisi saattanut olla merkittävämpää vaikutusta tuloksiin. Samaan lopputulokseen päätyivät myös Bártová ym (2012). Samaan aikaan Rop ym. (2009) raportoivat typpilannoituksen lisäämisen alentavan tärkkelyksen sekä aminohappojen määrää tuoreissa mukuloissa. Myös Lisińska ja Leszczyński (1989) havaitsivat lannoitetypen lisäämisen alentavan niin kuiva-ainetta kuin tärkkelyspitoisuutta, mutta nostavan useiden aminohappojen pitoisuutta. Lisätutkimus aiheesta on siis tarpeen, sillä yhden kasvukauden tuloksen ei voida luottaa kertovan kaikkea. Pitkän aikavälin seuranta ja tulosten parittainen vertailu saattaisi kertoa enemmän näiden kahden keskinäisestä riippuvuudesta.

7. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksessa selvitettiin mitkä ovat ne tekijät, joilla on vaikutusta tärkkelysperunan proteiinipitoisuuden vaihteluihin. Tutkimuksessa tarkasteltiin kesän 2016 tärkkelysperunan lajikekoneen yhteydessä kahden eri koepaikan yhden kasvukauden eroja kahden eri lajikkeen ja kolmen eri typpilannoituksen kautta neljässä kasvunostossa. Yhden kasvukauden kokeessa on huomioitava satunnaisuuden korkea riski, mutta tulokset antavat kuitenkin suuntaa todellisuudesta.

Kasvukauden erityispiirteillä on suuri merkitys sadonmuodostuksessa sekä mukulakoon kehittämisessä. Sateisuus ja toisaalta samaan aikaan myös muut kasvukauden stressit saattavat nopeuttaa mukuloiden muodostumista, mutta tällöin riski pienikokoisista mukuloista ja alhaisemmasta sadosta kasvaa. Lajikekohtaiset vaihtelevuudet mahdollistavat sadontuotannon erilaisissa olosuhteissa. Aikaisten lajikkeiden kohdalla sadon tuleentuminen on varmempaa. Suotuisalla kasvukaudella myöhäiset lajikkeet tuottavat kuitenkin korkeamman sadon, sillä ne pystyvät hyödyntämään maaperän ravinteita ja lannoitteita pidempään. Typpi- ja sitä kautta proteiinisadon kertyminen on varmempaa aikaisilla lajikkeilla, eli niiden suosiminen proteiinituotannossa takaa varmemman tuotoksensaannin kasvukauden olosuhteista huolimatta. Lajikevalinnan voidaan siis todeta vaikuttavan sadontuoton varmuuteen, mutta proteiinisadon määrään vaikuttavat myös muut tekijät. NPN-osuuteen vaikuttavia tekijöitä olisi kuitenkin vielä syytä tutkia erikseen.

Istutusajankohdalla on suurta merkitystä kasvuston kehityksen alkuun pääsemisessä. Kylminä ja sateisina kesinä aikainen istutusajankohta mahdollistaa kasvuston rauhallisen muodostumisen. Lämpimänä kesänä istutuksen myöhästymisen on kuitenkin mahdollista paikata nopeamman lämpösummakertymän ansiosta. Liian myöhäinen istutus vaikuttaa kasvuston kehityksen lisäksi myös satotasoon sekä typen kertymiseen mukuloihin, eikä samanlaisiin satotasoihin päästä. Samaa aikaan noston ajan-

kohta vaikuttaa mukuloihin kertyneisiin tärkkelys-, typpi- ja proteiinimääriin. Liian aikaisin nostetun sadon tärkkelys- ja typpimäärät ovat alhaisia kasvun ollessa kesken, mutta myös liian myöhäisessä vaiheessa nostettujen aikaisten lajikkeiden proteiini- ja tärkkelyspitoisuudet ovat sadon huippukohdan alapuolella.

Matalaravinteisella maalla ja epäsuotuisissa sääolosuhteissa lisätyppi vaikuttaa kasvunosien muodostumiseen sekä sadontuotantoon positiivisesti. Lisätypen määrä ei kuitenkaan automaattisesti tarkoita sadon lisäämistä, vaan se saattaa jopa laskea mukuloiden kokonaispainoa kasvin keskittyessä mukuloiden muodostamisen sijasta muun kasvuston muodostamiseen. Viljelyyn sopiva lohko ja suotuisat olosuhteet kumoavatkin osittain lisätypen tarpeen. Lisätyppi ei tutkimuksen perusteella vaikuta mukulamäärän. Merkittävimmät tekijät lähes kaikissa kokeiden välisissä eroavaisuuksissa olivat kasvupaikka ja lajike, eli korkeaa proteiinisatoa tavoiteltaessa on huomioitava viljeltävän lohkon ravinnetasapainon lisäksi sinne parhaiten soveltuvat lajikkeet sekä kasvupaikan sijainti Suomessa.

Mukulan tärkkelyspitoisuuden ja solunesteen typpipitoisuuden välillä ei havaittu yhteyttä. Tärkkelystuotannon sivutuotteena saatavan solunesteen tuottamisessa ei tarvitse siksi huolehtia typpipitoisuuden kasvun vaikutuksista tärkkelyksen määrän kehittymiseen. Typpilannoituksella todettiin olevan odotettua vähemmän vaikutusta mukuloiden typpipitoisuuteen. Nitraattipitoisuuden kasvussa typpilannoituksen lisäämisellä on kuitenkin suuri rooli.

Tutkimuksessa haluttiin myös selvittää mikä on mahdollisen viljelyn kannalta optimaalisin yhdistelmä tärkkelystuotannon sekä proteiinituotannon välillä. Voidaan todeta, että aikaisin istutetut aikaiset lajikkeet tuottavat varmimmin parhaan typpisadon. Lannoitustason lisääminen 100 kg/ha on tulosten perusteella tärkkelystuotan-

non kannalta paras ratkaisu, mutta typpi- ja proteiinisatoon typen lisääminen vaikuttaa aikaisilla lajikkeilla ainoastaan, mikäli sato myös nostetaan mahdollisimman pian sen tuleennuttua.

8. KIITOKSET

Ensimmäiseksi tahdon kiittää Finnamyl Oytä ja Lapuan perunaa, sekä erityisesti Ossi Paakkia kiinnostavasta ja ajankohtaisesta graduaiheesta. Kiitos myös ohjaajalleni Mervi Seppäselle, joka on auttanut viilaamaan tutkielmaani akateemisempaan suuntaan. Lisäksi tahdon kiittää Perunantutkimuslaitoksen henkilökuntaa mahdollisuudesta tilojen käyttöön ja kiitos myös Anna Sipilälle kaikesta avusta tutkimusosuuden toteuttamisen suhteen. Tahdon myös kiittää Luonnonvarakeskuksen Ylistaron ja Jokioisten henkilökuntaa niin säilytystiloista kuin laitteiston käytöstä ja avusta tulosten analysoinnissa. Lopuksi tahdon kiittää vanhempiani Eija ja Kauko Korpea. Ilman heidän jatkuvan kannustustaan ja tukeaan tutkielma tuskin olisi valmis. Lisäksi kiitos kaikille ystäville, jotka ovat tarjonneet tukensa tutkielmaa kirjoittaessani.

LÄHTEET

- Alva, A. 2004. Potato nitrogen management. *Journal of vegetable crop production* 10: 97-130.
- Bard, M.A., Et-Tohamu, W.A., Zaghoul, A.M. 2012. Yield and water use efficiency of Potato growth under different irrigation and nitrogen levels in an arid region. *Agricultural Water Management* 110: 9-15.
- Bártová, V., Bárta, J., Švajner, J. and Diviš, J. 2012. Soil nitrogen variability in relation to seasonal nitrogen cycling and accumulation of nitrogenous components in starch processing potatoes. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B– Soil and Plant Science* 62: 70-78
- Boreal Kasvinjalostus Oy. 2017. Hankkijan Tanu, Aikainen tärkkelysperunalajike. <https://www.boreal.fi/lajike/peruna/hankkijan+tanu/> Jokioinen, Suomi. Viitattu 8.8.2017
- Bucher, M. and Kossman, J. 2007. Molecular physiology of the mineral nutrition of the potato. Teoksessa: Vreugdenhil D. (toim.) *Potato Biology and Biotechnology Advances and Perspectives*. Oxford UK. Elsevier: s. 311-329.
- Burton, W.G. 1989. *The Potato*, 3. painos. Essex, UK: Logman Scientific & Technical. 742 s.
- Desborough, S.L. and Weiser, C.J. 1974. Improving potato protein I. Evaluation of selection Techniques. *American Potato Journal* 51: 185-196
- Eppendorfer, W.H. and Eggum, B.O. 1992. Effects of sulphur, nitrogen, phosphorus, potassium, and water stress on dietary fibre fractions, starch, amino acids and on the biological value of potato protein. *Plant Foods for Human Nutrition* 45: 299-313
- Eppendorfer, W.H., Eggum, B.O. and Bille, S.W. 1979. Nutritive value of potato crude protein as influenced by manuring and amino acid composition. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 30: 361-368

- Fadika, I.R., Kemp, P.K., Millner, J.P., Horne, D., Roskrige, N. 2016. Irrigation and nitrogen effects on tuber yield and water use efficiency of heritage and modern potato cultivars. *Agricultural Water Management* 170: 148-157.
- Finnamyl Oy. 2016. Finnamyl Oy. Tärkkelysperunan solunesteen ravinteiden kierrätys lannoitevalmisteiksi. https://www.finnamyl.fi/site?node_id=93
Kokemäki, Suomi Viitattu 7.8.2017.
- Haase, T. Schüler, C, Heß, J. 2005. The effect of different N and K sources on tuber nutrient uptake, total and graded yield of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) for processing. *European Journal of Agronomy* 26: 187-197
- Hack, H., Gall, H., Klemke, T., Klose, R., Meier, U., Stauss, R. und Witzen-Berger, A. 1993. Phänologische Entwicklungsstadien der Kartoffel (*Solanum tuberosum* L.). Codierung und Beschreibung nach der erweiterten BBCH-Skala mit Abbildungen. *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes* 45: 11-19
- Horton, D. and Sawyer, R.L. 1985. The Potato as a world food crop, with special reference to developing areas. Teoksessa Paul, H.L. (toim.) *Potato Physiology*. Orlando, Florida USA. Academic Press Inc. s. 1-34.
- Huett, D.O., ja Dettmann, E.B. 1992. Nutrient Uptake and partitioning by Zucchini Squash, Head Lettuce and Potato in Response to Nitrogen. *Australian Journal of Agricultural Research* 43: 1653-1665
- Ierna, A., Pandino, G., Lombardo, S., ja Mauromicale, G., 2011. Tuber yield, water and fertilizer productivity in early potato as affected by a combination of irrigation and fertilization. *Agricultural Water Management* 101 (2011): 35-14
- Lin, S., Sattelmacher, B., Kutzman, E., Mühling, K.H. and Dittert, K. 2004. Influence of nitrogen nutrition on tuber quality of potato with special reference to the path-way of nitrate transport into tubers. *Journal of Plant Nutrition* 27 (2): 341-350
- Lisińska, G. and Leszczyński, W. 1989. *Potato science and technology*. Essex, UK. Elsevier science publishers Ltd. 391 s.

- Løkra, S., Strætkvern, K.O. 2009. Industrial Proteins from Potato Juice. A Review. Food 3: 88-95
- Marschner, H. 1995 Mineral Nutrition of Higher Plants. 2. painos. London, UK: Academic Press Limited. 889 s.
- McDole, R.E. and McMaster, G.M. 1978. Effects of moisture stress and nitrogen fertilization on tuber nitrate-nitrogen content. American Potato Journal 55: 611-619
- Meise, P., Jozefowicz, A.M., Uptmoor, R., Mock, H.-P., Ordon, F., Schum, A. 2017. Comparative shoot proteome analysis of two potato (*Solanum tuberosum* L.) genotypes contrasting in nitrogen deficiency responses in vitro. Journal of Proteomics 166: 68-82
- Meisinger, J.J. 1984. Evaluating Plant-Available Nitrogen in Soil-Crop Systems. Teoksessa: Hauck, R.D. (toim) Nitrogen in Crop Production (Proceedings of a symposium held 25-27 May 1982 at Sheffield, Alabama) American Society of Agronomy, Inc., Crop Science Society of America, Inc., Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, USA
- Mengel, K. and Kirkby, E.A. 1987. Principles of Plant Nutrition. 4.painos. Bern, Switzerland: Lang Druck AG. International Potash Institute 687 s.
- Mulder, E.G. and Bakema, K. 1956. Effect of the nitrogen, phosphorus, potassium and magnesium nutrition of potato plants on the content of free amino-acids and on the amino-acid composition of the protein of the tubers. Plant and Soil 7(2): 135-166
- Osaki, M., Shirai, J., Shinano, T. and Tadano, T. 1995. Effects of Ammonium and Nitrate Assimilation on the Growth and Tuber Swelling of Potato Plants. Soil Science and Plant Nutrition 41 (4): 709-719
- Opsina, C.A., Lammerts van Bueren, E.T., Allefs, J.J.H.M., Engel, B., van der Putten, P.E.L., van der Linden, C.G., Struik, P.C. 2014. Diversity of crop development

traits and nitrogen use efficiency among potato cultivars grown under contrasting nitrogen regimes. *Euphytica* (2014) 199: 13-29

Pratt, P.F. 1984. Nitrogen Use and Nitrate Leaching in Irrigated Agriculture. Teoksessa: Hauck, R.D. (toim) Nitrogen in Crop Production (Proceedings of a symposium held 25-27 May 1982 at Sheffield, Alabama) American Society of Agronomy, Inc., Crop Science Society of America, Inc., Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, USA

Rastovski, A., van Es, A. et al. 1981. Storage of potatoes. Post-harvest behaviour, store design, storage practice, handling. Wageningen, The Netherlands. Wageningen Pers. 462 s.

Rexen, B. 1976 Studies of protein of potatoes. *Potato Research* 19: 189-202

Rop, O., Buňka, F., Valášek, P. Kramářová, D. 2009. The Influence of Nitrogen Fertilization on starch content and Amino-acid composition of very early-harvested potato tubers. *Acta fytotechnica et zootechnica* 3/2009: 72-75

Sharifi, M., Zebarth, B.J., Coleman, W. (2007) Screening for nitrogen-use efficiency in potato with a recirculating hydroponic system. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 38 (3-4): 359-370.

Sattelmacher, B., Klotz, F. and Marschner H. 1990. Influence of the nitrogen level on root growth and morphology of two potato varieties differing in nitrogen acquisition, *Plant Soil* 123(2): 131-137.

Schum, A. and Jansen, G. 2012. Physiological response to nitrogen deficiency stress of in vitro grown potato genotypes. Teoksessa: D. Geelen. (toim.) In Vitro Culture and Horticultural Breeding (Proceedings of the seventh international symposium, September 18 - 22 2011, Ghent, Belgium) Ghent Belgium, ISHS 2012, *Acta Horticulturae* 961: 456-472.

Seppänen, M. (toim.) 2008. Peltokasvien tuotanto. Helsinki/Sastamala: Opetushallitus, 206 s.

- Simková, D., Lachman, J., Hamouz, K., Vokál, B. 2013. Effect of cultivar, location and year on total starch, amylose, phosphorous content and starch grain size of high starch potato cultivars for food and industrial processing. *Food Chemistry* 141: 3872-3880
- Simonne, E.H., Harris, C.E. and Mills, H.A. 1998. Does the Nitrate Fraction Account for Differences Between Dumas-N and Kjeldahl-N Values in Vegetable Leaves? *Journal of Plant Nutrition* 21(12): 2527-2534
- Strawn, D.G., Bohn, H.L. and O'Connor, G.A. 2015. *Soil Chemistry* 4. painos. Chichester UK: John Wiley & sons, Ltd. 375 s.
- Struik, P.C. and Wiersema, S.G. 1999. *Seed Potato Technology*. Wageningen, The Netherlands. Wageningen Pers. 383 s.
- The European Cultivated Potato Database. Science and Advice for Scottish Agriculture SASA. 2010. <https://www.europotato.org/varieties/view/Kuras-E> Scotland, United Kingdom. Viitattu 20.3.2018
- Van Gelder, W. M. J. 1981. Conversion factor from nitrogen to protein for potato tuber protein. *Potato Research* 24: 423-425
- Vos, J. 2009. Nitrogen Responses and Nitrogen Management in Potato. *Potato Research* 52: 305-317
- Vos, J., Biemond, H. 1992. Effects of nitrogen on the development and growth of the potato plant. 1. Leaf appearance, expansion growth, life spans of leaves and stem branching. *Annals of Botany* 70: 27-35
- Wang, Y.Y., Hsu, P.K. and Tsay, Y.F. 2012. Uptake, allocation and signaling of nitrate. *Trends in Plant Science* 17: 458-467.
- Williams, L.E. and Miller, A.J. 2001. Transporters responsible for the uptake and partitioning of nitrogenous solutes. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 52: 659-688

Xu, G., Fan, X., and Miller, A.J. 2012. Plant Nitrogen Assimilation and Use Efficiency.
Annual Review of Plant Biology 63: 153-82

LIITTEET

LIITE 1. Maaperien ravinnepitoisuudet koepaikoilla

Koepaikka	Ylistaro	Köyliö
Maalaji	rm HHT	mHtMr
pH	6,3	6,3
Ca	1409	1100
P	12	19
K	82	97
Mg	110	110
S	-	15
esikasvi	kaura	öljyretikka
määr. aika	-	11/2013

LIITE 2. Rikkakasvi- ja tautitorjunta koepaikoilla

Ylistaro**Rikkakasvitorjunta**

<u>pvm</u>	<u>aine (markkinoija)</u>	<u>määrä</u>
14.6.2016	Senkor SC 600 (Bayer CropScience)	0,3 l/ha
4.7.2016	Titus WSB (Du Pont)	50 g/ha

Tautitorjunta

<u>pvm</u>	<u>aine (markkinoija)</u>	<u>määrä</u>
4.7.2016	Consento SC 450 (Bayer CropScience)	1,5 l/ha
11.7.2016	Consento SC 450 (Bayer CropScience)	2 l/ha
18.7.2016	Consento SC 450 (Bayer CropScience)	1,5 l/ha
25.7.2016	Infinito (Bayer CropScience)	1,6 l/ha
1.8.2016	Infinito (Bayer CropScience)	1,6 l/ha
1.8.2016	Amistar (Syngenta Nordics A/S)	0,5 l/ha
5.8.2016	Acrobat WG (BASF Oy)	2 kg/ha
12.8.2016	Ranman Top (ISK Bioscience Europe N.V.)	0,5 l/ha
23.8.2016	Ranman Top (ISK Bioscience Europe N.V.)	0,5 l/ha

Köyliö**Rikkakasvitorjunta**

<u>pvm</u>	<u>aine (markkinoija)</u>	<u>määrä</u>
29.5.2016	Senkor SC 600 (Bayer CropScience)	0,5 l/ha
29.5.2016	Boxer (Syngenta Nordics A/S)	2 l/ha
21.6.2016	Agil 100 EC (ADAMA Registrations B.V.)	1 l/ha

Tautitorjunta

<u>pvm</u>	<u>aine (markkinoija)</u>	<u>määrä</u>
1.7.2016	Tridex (UPL)	2 kg/ha
8.7.2016	Revus Top (Syngenta Nordics A/S)	0,6 l/ha
18.7.2016	Tridex (UPL)	2,2 kg/ha
2.8.2016	Revus (Syngenta Nordics A/S)	0,6 l/ha
12.8.2016	Revus (Syngenta Nordics A/S)	0,6 l/ha
28.8.2016	Shirlan (Syngenta Nordics A/S)	0,4 l/ha

LIITE 3. Perunan tarkennettu BBCH-asteikko (PETLA)

PERUNAN KASVU & KEHITTYMINEN

Pääkasvuaste 0: Itäräinen/taimettuminen

- 0 Iduton mukula
- 1 Itäminen alkanut, itujen pituus alle 1 mm
- 2 Itujen pituus alle 2 mm
- 3 Itäminen edennyt pitkälle, itujen pituus 2–3 mm
- 5 Juuriston muodostuminen alkaa
- 7 Varsien muodostuminen alkaa
- 8 Varret kasvavat maan pintaa kohden
- 9 Taimettuminen: varret tulevat esiin maasta

Pääkasvuaste 1: Lehdistön kehittyminen

- 19 Ensimmäiset lehdet alkavat kasvaa
- 11 Pääversion ensimmäinen lehti avautunut (koko yli 4 cm)
- 12 Pääversion toinen lehti avautunut (koko yli 4 cm)
- 13 Pääversion kolmas lehti avautunut (koko yli 4 cm)
- 1X Pääversion X. lehti avautunut (koko yli 4 cm)
- 19 Yhdeksän tai useampia lehtiä muodostunut pääversion (varren kehitys loppuu, kun kukinto (kukannuput) muodostuu)

Pääkasvuaste 2: Sivuhaarat

- (kasvat pääversion maanalaisista solmuista)
- 21 Ensimmäinen sivuhaara näkyvässä (pituus yli 5 cm)
- 22 Toinen sivuhaara näkyvässä (pituus yli 5 cm)
- 2X X. sivuhaara näkyvässä (pituus yli 5 cm)
- 29 Yhdeksän tai useampia sivuhaaroja näkyvässä (pituus yli 5 cm)

Pääkasvuaste 3: Kasvuston sulkeutuminen

- (pääversion pituuskasvu)
- 31 Kasvuston umpeutuminen alkanut: 10 % riviväleistä sulkeutunut
- 33 30 % riviväleistä sulkeutunut
- 39 Kasvuston umpeutuminen täydellinen: noin 90 % riviväleistä sulkeutunut

Pääkasvuaste 4: Mukulan muodostuminen

- 40 Mukulan muodostus alkaa: ensimmäisen rönсын kärke turpoaa halkaisijaltaan kaksinkertaiseksi
- 43 30 % mukulasadosta muodostunut
- 45 50 % mukulasadosta muodostunut
- 47 70 % mukulasadosta muodostunut
- 48 Mukulasato täysin muodostunut, mukulat irtoavat helposti rönсыistä, mukulan kuori ei ole täysin vahvistunut (kuori on helposti irrotettavissa peukalon työnnöllä)
- 49 Mukulan kuori täysin vahvistunut (kuori ei enää irtoa peukalon työnnöllä): 95 % mukuloista tässä kehitysvaiheessa

Pääkasvuaste 5: Kukkanuppujen muodostuminen

- 51 Ensimmäiset pääversion kukkanuput näkyvät (koko 1–2 mm)
- 55 Ensimmäiseksi kehittyneen kukinnan nuput ovat pääversossa 5 mm kokoisia
- 59 Ensimmäiseksi kehittyneen kukinnan terälehdet näkyvässä

Pääkasvuaste 6: Kukinta

- 60 Kasvuston ensimmäiset kukat avautuneet
- 61 Kukinnan alkaminen: pääversion ensimmäiseksi kehittyneen kukkatertun kukista 10 % on avautunut
- 65 Täyskukinta: pääversion ensimmäiseksi kehittyneen kukkatertun kukista 50 % on avautunut
- 69 Ensimmäiseksi kehittyneen kukkatertun kukinta on pääversossa ohi (kukinta jatkuu myöhemmin kehittyneissä kukkatertuissa)

Pääkasvuaste 7: Marjojen ja siementen muodostuminen

- 70 Ensimmäisiä marjoja näkyy kasvustossa
- 71 10 % pääversion ensimmäisen tertun marjoista on saavuttanut täyden kokonsa
- 75 50 % pääversion ensimmäisen tertun marjoista on saavuttanut täyden kokonsa (tai on irronnut)
- 79 90 % pääversion ensimmäisen tertun marjoista on saavuttanut täyden kokonsa (tai on irronnut)

Pääkasvuaste 8: Marjojen tuleentuminen

- 81 Pääversion ensimmäisen tertun marjat ovat vielä vihreitä, siemenet sisällä vaaleita
- 85 Pääversion ensimmäisen tertun marjojen siemenet ruskehtavia
- 89 Pääversion ensimmäisen tertun marjat kuivuvat, siemenet ovat tummia

Pääkasvuaste 9: Kasvuston ränsistymisen

- 91 Kasvusto täysin vihreä
- 92 Kasvuston väri vaalentunut
- 93 Ensimmäiset lehdet kellastuneet
- 94 Kolmannes lehdistä kellastunut
- 95 Puolet lehdistä kellastunut tai ruskettunut
- 96 2/3 lehdistä kellastunut tai ruskettunut
- 97 Useimmat lehdet kellastuneet tai ruskettuneet
- 98 Lehdet kuolleet, varret kellastuneet
- 99 Lehdet ja varret kuolleet

Mukuloiden irtoavuus:

- 1 Mukulat keskenkasvuiset, tiukasti kiinni
- 3 Vain suurimmat mukulat irtoavat kohtuullisella ravistamisella
- 5 Puolet mukuloiden irtoaa kevyesti ravistelemalla
- 7 ¾ mukuloiden irtoaa kevyesti ravistamalla
- 9 Kaikki mukulat jäävät maahan varsia varovasti penkistä vedettäessä

LIITE 4. Mukuloiden kokojakaumaluokittelu kasvunostoittain

Paikka	Nosto	Lajike ja typpitaso	alle 30	30-35	35-40	40-45	45-50	50-55	55-60	60-65	65-70	yli 70	Yhteensä
Ylistaro	1	Kuras 80	39	31	20	1	0	1					92
Ylistaro	1	Kuras 100	30	21	9	8	4						72
Ylistaro	1	Kuras 120	42	18	17	5	2						84
Ylistaro	1	Tanu 80	16	10	28	20	3						77
Ylistaro	1	Tanu 100	15	14	16	22	6						73
Ylistaro	1	Tanu 120	17	17	28	16	2						80
Ylistaro	2	Kuras 80	27	17	24	31	8	1					108
Ylistaro	2	Kuras 100	14	19	16	22	18	2					91
Ylistaro	2	Kuras 120	26	17	29	23	16	2					113
Ylistaro	2	Tanu 80	18	10	13	14	11	5	3				74
Ylistaro	2	Tanu 100	14	8	10	15	8	7	6	2			70
Ylistaro	2	Tanu 120	13	15	26	20	10	5					89
Ylistaro	3	Kuras 80	8	7	18	34	16	6					89
Ylistaro	3	Kuras 100	14	7	18	18	22	11	3				93
Ylistaro	3	Kuras 120	11	9	22	32	14	14	5	1			108
Ylistaro	3	Tanu 80	13	9	13	15	13	4					67
Ylistaro	3	Tanu 100	19	9	13	23	26	8	1				99
Ylistaro	3	Tanu 120	16	11	11	19	20	12	1	1			91
Ylistaro	4	Kuras 80	10	10	19	17	18	13	1				88
Ylistaro	4	Kuras 100	19	15	17	34	21	5	5	1			117
Ylistaro	4	Kuras 120	17	15	26	20	20	11	4				113
Ylistaro	4	Tanu 80	6	4	11	20	22	11					74
Ylistaro	4	Tanu 100	10	8	11	10	22	12	3				76
Ylistaro	4	Tanu 120	9	8	19	13	23	11	4	1			88
Köyliö	1	Kuras 80	21	12	21	13	4	1					72
Köyliö	1	Kuras 100	17	10	12	13	6	5					63
Köyliö	1	Kuras 120	25	13	20	15	13	1					87
Köyliö	1	Tanu 80	12	20	29	11	3	2					77
Köyliö	1	Tanu 100	17	23	26	19	2						87
Köyliö	1	Tanu 120	18	26	35	10	1						90
Köyliö	2	Kuras 80	15	9	15	13	21	15	8	1			97
Köyliö	2	Kuras 100	36	11	3	13	15	15	5	2			100
Köyliö	2	Kuras 120	13	12	13	17	9	10	4				78
Köyliö	2	Tanu 80	10	11	13	26	10	2	1				73
Köyliö	2	Tanu 100	9	10	20	20	21	3					83
Köyliö	2	Tanu 120	19	11	24	23	11	3					91
Köyliö	3	Kuras 80	16	7	6	8	17	11	10	7	4	1	87
Köyliö	3	Kuras 100	11	7	8	6	9	7	6	11	3		68
Köyliö	3	Kuras 120	9	9	9	13	12	17	11	4	1		85
Köyliö	3	Tanu 80	12	7	21	21	18	11	6	2			98
Köyliö	3	Tanu 100	8	6	13	21	22	17	2	1			90
Köyliö	3	Tanu 120	9	8	14	30	24	10	5	1			101
Köyliö	4	Kuras 80	10	2	8	8	8	8	10	14	8	2	78
Köyliö	4	Kuras 100	12	6	6	7	22	8	12	6	7	2	88
Köyliö	4	Kuras 120	9	1	11	6	13	7	11	13	12	2	85
Köyliö	4	Tanu 80	14	7	17	26	17	13	4		2		100
Köyliö	4	Tanu 100	8	9	13	21	29	11	3				94
Köyliö	4	Tanu 120	12	17	22	15	27	13	2				108

LIITE 5. Kokonaistyyppipitoisuuden ja nitraattityyppipitoisuuden tilastolliset merkitsevyydet

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Kok_N_mgl Mean
0,20404	266,5782	1252,271	469,7576

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Lajike	1	23472490,780	23472490,780	14,97	0,0002
Koepaikka	1	19148573,740	19148573,740	12,21	0,0006
NOSTO	3	9335309,960	3111769,990	1,98	0,1193
Typpitaso	2	2714993,86	1357496,93	0,87	0,4231

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Lajike	1	23472490,780	23472490,780	14,97	0,0002
Koepaikka	1	19148573,740	19148573,740	44531,00	0,0006
NOSTO	3	9335309,960	3111769,990	35796,00	0,1193
Typpitaso	2	2714993,860	1357496,930	0,87	0,4231

Parameter Estimate			Standard Error	t Value	Pr > t
Intercept	559,622	B	295,163	32874,00	0,0601
Lajike Kuras	-807,474	B	208,712	-3,87	0,0002
Lajike Tanu	0,000	B	,	,	,
Koepaikka Köyliö	729,318	B	208,712	17958,00	0,0006
Koepaikka Ylistaro	0,000	B	,	,	,
NOSTO 1	-477,106	B	295,163	-1,62	0,1083
NOSTO 2	225,233	B	295,163	0,76	0,4467
NOSTO 3	-31,031	B	295,163	-0,11	0,9164
NOSTO 4	0,000	B	,	,	,
Typpitaso 80	-137,373	B	255,619	-0,54	0,5919
Typpitaso 100	197,190	B	255,619	0,77	0,4418
Typpitaso 120	0,000	B	,	,	,

R-Square	Coeff Var	Root MSE	NO3_N_mgl Mean
0,500	130,682	6,727	5,148

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Lajike	1	1871,500	1871,500	41,36	<,0001
Koepaikka	1	2771,935	2771,935	61,25	<,0001
NOSTO	3	1429,308	476,436	10,53	<,0001
Typpitaso	2	70,390	35,195	0,78	0,4615

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Lajike	1	1871,500	1871,500	41,36	<,0001
Koepaikka	1	2771,935	2771,935	61,25	<,0001
NOSTO	3	1429,308	476,436	10,53	<,0001
Typpitaso	2	70,390	35,195	0,78	0,4615

Parameter Estimate			Standard Error	t Value	Pr > t
Intercept	8,841	B	1,586	5,58	<,0001
Lajike Kuras	-7,210	B	1,121	-6,43	<,0001
Lajike Tanu	0,000	B	,	,	,
Koepaikka Köyliö	8,775	B	1,121	7,83	<,0001
Koepaikka Ylistaro	0,000	B	,	,	,
NOSTO 1	-7,928	B	1,586	-5	<,0001
NOSTO 2	-4,929	B	1,586	-3,11	0,0023
NOSTO 3	-1,090	B	1,586	-0,69	0,4929
NOSTO 4	0,000	B	,	,	,
Typpitaso 80	-1,465	B	1,373	-1,07	0,2879
Typpitaso 100	-1,501	B	1,373	-1,09	0,2764
Typpitaso 120	0,000	B	,	,	,

LIITE 6. Mukulan ja lehtien typen hyödynnyksen tilastolliset merkitsevyydet

Typen hyödynnys, Mukula

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Mean
0,749635	112,0514	37,495	33,462

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr>F
Lajike	1	86488,036	86488,036	61,52	<0,0001
Kopaikka	1	95491,423	95491,423	67,92	<0,0001
NOSTO	3	54466,020	18155,340	12,91	<0,0001
Typpitaso	2	410,847	205,423	0,15	0,8642
Lajike*Koepaikka	1	46279,194	46279,194	32,92	<,0001
Lajike*NOSTO	3	22511,232	7503,744	5,34	0,0019
Lajike*Typpitaso	2	2119,836	1059,918	0,75	0,4733
Koepaikka*NOSTO	3	45658,042	15219,347	10,83	<0,0001
Koepaikka*Typpitaso	2	4334,217	2167,109	1,54	0,2193
NOSTO*Typpitaso	6	7147,875	1191,313	0,85	0,5366
Lajike*Koepaik*NOSTO	3	18811,992	6270,664	4,46	0,0056
Lajike*Koepai*Typpit.	2	5621,146	2810,573	2,00	0,141
Koepai*NOSTO*Typpit.	6	7430,449	1238,408	0,88	0,512
Laji*Koep*NOST*Typpit.	12	7324,050	610,338	0,43	0,9459

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr>F
Lajike	1	79863,087	79863,087	56,81	<0,0001
Kopaikka	1	88500,440	88500,440	62,95	<0,0001
NOSTO	3	56025,619	18675,206	13,28	<0,0001
Typpitaso	2	287,699	143,850	0,10	0,9028
Lajike*Koepaikka	1	43209,363	43209,363	30,74	<,0001
Lajike*NOSTO	3	24516,288	8172,096	5,81	0,0011
Lajike*Typpitaso	2	2469,379	1234,689	0,88	0,4188
Koepaikka*NOSTO	3	46385,708	15461,903	11,00	<0,0001
Koepaikka*Typpitaso	2	4401,343	2200,672	1,57	0,2143
NOSTO*Typpitaso	6	7257,329	1209,555	0,86	0,527
Lajike*Koepaik*NOSTO	3	18471,635	6157,212	4,38	0,0062
Lajike*Koepai*Typpit.	2	5174,039	2587,019	1,84	0,1643
Koepai*NOSTO*Typpit.	6	7630,950	1271,825	0,90	0,495
Laji*Koep*NOST*Typpit.	12	7324,050	610,338	0,43	0,9459

Typen hyödynnys, lehdet

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Mean
0,818607	28,44309	12,8505	45,17968

DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr>F
1	32446,773	32446,773	196,49	<0,0001
1	6989,257	6989,257	42,32	<0,0001
3	15253,596	5084,532	30,79	<0,0001
2	2026,101	1013,050	6,13	0,0031
1	2209,670	2209,670	13,38	0,0004
3	2099,360	699,787	4,24	0,0074
2	649,568	324,784	1,97	0,1455
3	2159,232	719,744	4,36	0,0064
2	915,871	457,936	2,77	0,0675
6	1745,388	290,898	1,76	0,1152
3	41,092	13,697	0,08	0,9692
2	1381,549	690,775	4,18	0,0181
6	1274,444	212,407	1,29	0,2709
12	2350,837	195,903	1,19	0,3039

DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr>F
1	31060,511	31060,511	188,09	<0,0001
1	7535,560	7535,560	45,63	<0,0001
3	14811,381	4937,127	29,90	<0,0001
2	1996,094	998,047	6,04	0,0034
1	2087,740	2087,740	12,64	0,0006
3	2118,386	706,129	4,28	0,007
2	649,034	324,517	1,97	0,1457
3	2059,036	686,345	4,16	0,0082
2	915,482	457,741	2,77	0,0676
6	1729,811	288,302	1,75	0,1186
3	47,480	15,827	0,10	0,9622
2	1403,949	701,974	4,25	0,017
6	1187,581	197,930	1,20	0,3137
12	2350,837	195,903	1,19	0,3039